

(19) KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE (KR)

(12) LAID OPEN PATENT PUBLICATION (A)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup> (11) Laid-Open No. 10-2002-0042462

G02B 27/18 (43) Laid-Open Date June 5, 2002

(21) Filing No. 10-2001-0074517

(22) Filing Date November 28, 2001

(30) Priority Data Japanese Application No. 2000-363225  
November 29, 2000

Japanese Application No. 2001-074240 March 15, 2001

(71) Applicant Nikon Corporation

(72) Inventor Tanitsu, Osamu  
2-3, Marunouchi 3-chome Chiyoda-ku, Tokyo,  
Japan  
Shibuya, Masato  
2-3, Marunouchi 3-chome Chiyoda-ku, Tokyo,  
Japan  
Toyoda, Mistunori  
2-3, Marunouchi 3-chome Chiyoda-ku, Tokyo,  
Japan

(74) Attorney Chang-se, Kim

(77) Examination No

(54) Illumination optical apparatus and exposure apparatus  
provided with illumination optical apparatus

ABSTRACT

An illumination optical apparatus successfully realizes mutually different illumination conditions in orthogonal two directions on an illumination objective plane. A magnification-varying optical system for similarly changing the entire size of a secondary multiple light source is arranged in an optical path between a first optical integrator for forming a first multiple light source on the basis of a light beam from a light source and a second optical integrator for forming the second multiple light source having light sources of a larger number on the basis of a light beam from the first multiple light source. The apparatus further comprises an aspect ratio-changing element for changing the aspect ratio of the incoming light beam in order to change the angle of incidence of the incoming light beam into the first optical integrator in a predetermined direction.

#### REPRESENTATIVE DRAWING

FIG. 1

#### SPECIFICATION

#### BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

FIG. 1 schematically shows an arrangement of an exposure apparatus provided with an illumination optical apparatus according to a first embodiment of the present invention.

FIG. 2 schematically shows an arrangement of a quadrupole secondary light source formed on a rear side focal plane of a fly's eye lens.

FIGS. 3A and 3B schematically show an arrangement of a pair of prisms for constructing a V-shaped axicon arranged in an optical path of an afocal zoom lens.

FIGS. 4A-4D schematically illustrate the influence exerted on the quadrupole secondary light source by the change of the spacing distance of the V-shaped axicon, the change of the magnification of the afocal zoom lens, and the change of the focal length of the zoom lens.

FIGS. 5A-5D schematically illustrate the influence exerted on the annular secondary light source by the change of the spacing distance of the V-shaped axicon, the change of the magnification of the afocal zoom lens, and the change of the focal length of the zoom lens.

FIGS. 6A-6C show illustrative modified embodiments concerning the shape of the refracting plane of the V-shaped axicon.

FIGS. 7A and 7B show illustrative modified embodiments concerning the rotation and the combination of the V-shaped axicon.

FIG. 8 shows a flow chart of a technique adopted to obtain a semiconductor device as a microdevice.

FIG. 9 shows a flow chart of a technique adopted to obtain a

liquid crystal display device as a microdevice.

FIG. 10 schematically shows an arrangement of an exposure apparatus provided with an illumination optical apparatus according to a second embodiment of the present invention.

FIG. 11 shows a perspective view schematically illustrating an arrangement of three axicons arranged in an optical path between a front side lens group and a rear side lens group of an afocal lens in the second embodiment.

FIG. 12 illustrates the function of a conical axicon for a secondary light source formed in the quadrupole illumination in the second embodiment.

FIG. 13 illustrates the function of a zoom lens for a secondary light source formed in the quadrupole illumination in the second embodiment.

FIGS. 14A-14C illustrate the function of a first V-shaped axicon and a second V-shaped axicon for a secondary light source formed in the quadrupole illumination in the second embodiment.

FIG. 15 illustrates the function of a conical axicon, a zoom lens, a first V-shaped axicon, and a second V-shaped axicon for each of circular surface light sources formed in the quadrupole illumination in the second embodiment.

FIG. 16 illustrates each of surface light sources and a movement range of the surface light source formed by three types of diffracting optical elements for the quadrupole illumination having different characteristics in the second embodiment.

FIG. 17 illustrates each of surface light sources and movement and deformation of the surface light source formed by four types of diffracting optical elements for the quadrupole illumination having different characteristics in a first modification of the second embodiment.

FIG. 18 illustrates each of surface light sources and movement and deformation of the surface light source formed by four types of diffracting optical elements for the quadrupole illumination having different characteristics in the first modification of the second embodiment.

FIG. 19 illustrates each of surface light sources and movement and deformation of the surface light source formed by two types of diffracting optical elements for the quadrupole illumination having different characteristics in a second modification of the second embodiment.

FIG. 20 illustrates the function of the conical axicon for the secondary light source formed in the annular illumination in the second embodiment.

FIG. 21 illustrates the function of the zoom lens for the secondary light source formed in the annular illumination in the second embodiment.

FIGS. 22A-22C illustrate the function of the first V-shaped axicon and the second V-shaped axicon for the secondary light source formed in the annular illumination in the second embodiment.

FIGS. 23A and 23B illustrate a third modification of the second embodiment.

FIGS. 24A-24C illustrate the function of the first V-shaped axicon and the second V-shaped axicon for the secondary light source formed in the circular illumination in the second embodiment.

FIG. 25 schematically shows an arrangement of an exposure apparatus provided with an illumination optical apparatus according to a third embodiment of the present invention.

FIG. 26 shows a perspective view schematically illustrating an arrangement of a pair of V-shaped axicons arranged in an optical path of an afocal lens in the third embodiment.

FIG. 27 schematically shows an arrangement of an exposure apparatus provided with an illumination optical apparatus

according to a fourth embodiment of the present invention.

FIG. 28 shows a perspective view schematically illustrating an arrangement of a conical axicon and a V-shaped axicon arranged in an optical path of an afocal lens in the fourth embodiment.

FIG. 29 schematically shows an arrangement of an exposure apparatus provided with an illumination optical apparatus according to a fifth embodiment of the present invention.

FIGS. 30A and 30B illustrate the function of a second diffracting optical element in the fifth embodiment.

<Description of reference numerals of principal elements in the drawings>

- 1: light source
- 4: diffractive optical element
- 5: afocal zoom lens
- 6: micro fly's eye
- 7: zoom lens
- 8: fly's eye lens
- 8a: micro fly's eye
- 9: condenser optical system
- 10: V-shaped axicon
- 11, 72: diffractive optical element
- 12: afocal lens
- 14: conical axicon
- 15, 16: V-shaped axicon

17: mask blind  
18: image-forming optical system  
20: input unit  
21: control system  
22~29: driving system  
70: rod type integrator  
71: zoom lens  
73: input lens  
M: mask  
PL: projection optical system  
W: wafer

#### DETAILED DESCRIPTION

##### Object of the Invention

##### Field of the Invention and the Related Background Art

The present invention relates to an illumination optical apparatus and an exposure apparatus provided with the illumination optical apparatus. In particular, the present invention relates to an illumination optical apparatus which is preferable for an exposure apparatus to produce, in the lithography step, microdevices including, for example, semiconductor elements, image-pickup elements, liquid crystal display elements, and thin film magnetic heads.

In a typical exposure apparatus of this type, a light beam, which is radiated from a light source, forms a secondary light source which is provided as a substantial surface light source



(surface illuminant) composed of a large number of light sources by the aid of a fly's eye lens which serves as an optical integrator. The light beam from the secondary light source is restricted by an aperture diaphragm which is arranged in the vicinity of the rear side focal plane of the fly's eye lens, and then the light beam comes into a condenser lens.

The light beam, which is collected by the condenser lens, illuminates, in a superimposed manner, a mask on which a predetermined pattern is formed. The light beam, which has passed through the pattern on the mask, passes through a projection optical system to form an image on a wafer. Accordingly, the mask pattern is subjected to projection exposure (transfer) onto the wafer. The pattern formed on the mask is highly integrated. In order to correctly transfer the fine pattern onto the wafer, it is indispensable to obtain a uniform illuminance distribution on the wafer.

In consideration of the situation as described above, a technique attracts the attention, in which a circular secondary light source is formed on the rear side focal plane of the fly's eye lens, and its size is changed to change the coherency  $\sigma$  of illumination ( $\sigma$  value = diameter of aperture diaphragm / diameter of pupil of projection optical system, or  $\sigma$  value = numerical aperture on outgoing side of illumination optical system / numerical aperture on incoming side of projection optical system). On the other hand, a technique attracts the attention, in which an annular or quadrupole secondary light

source is formed on the rear side focal plane of a fly's eye lens to improve the depth of focus and/or the resolution of the projection optical system.

However, as for the conventional techniques as described above, the cross-sectional configuration of the light beam coming into one point on the mask as an illumination objective plane resides in an identical positional relationship in relation to two directions perpendicular to one another on the mask, either in the case of the conventional circular illumination based on the circular secondary light source or in the case of the modified illumination (annular illumination or quadrupole illumination) based on the annular or quadrupole secondary light source. In other words, in the conventional technique, the illumination condition is identical in the two directions perpendicular to one another on the illumination objective plane. As a result, when the mask pattern involves any orientation, it is impossible to realize an optimum illumination condition in each of the perpendicular two directions on the mask. On the other hand, in recent years, it is sincerely demanded that the pattern on the mask is correctly transferred under an optimum illumination condition, and the optical performance of the projection optical system is successfully confirmed highly accurately at the same time when the pattern on the mask is correctly transferred.

The present invention has been made taking the foregoing problems into consideration, an object of which is to provide

an illumination optical apparatus which makes it possible to realize mutually different illumination conditions in two directions perpendicular to one another on an illumination objective plane, and an exposure apparatus which is provided with the illumination optical apparatus. Another object of the present invention is to provide a method for producing microdevices, which makes it possible to produce a good microdevice under a good illumination condition by using an exposure apparatus which is capable of setting optimum illumination conditions in perpendicular two directions on a mask formed with a pattern with certain orientation. Still another object of the present invention is to provide, for example, an exposure apparatus and an exposure method in which a pattern on a mask can be correctly transferred under an appropriate illumination condition, and the optical performance of a projection optical system can be confirmed highly accurately at the same time when the pattern on the mask is correctly transferred.

#### SUMMARY OF THE INVENTION

According to a first aspect of the present invention, there is provided an illumination optical apparatus, comprising: a first optical integrator which forms a first multiple light source on the basis of the light beam from the light source; a second optical integrator which forms a second multiple light source on the basis of the light beam from the first multiple light source, for illuminating an illumination objective plane with

a light beam from the second multiple light source, further comprising a magnification-varying optical system which is arranged in an optical path between the first optical integrator and the second optical integrator and which similarly changes an entire size of the second multiple light source; and an aspect ratio-changing element which changes an aspect, ratio of an incoming light beam in order to change an angle of incidence of the incoming light beam in a predetermined direction into the optical integrator.

According to a second aspect of the present invention, there is provided an illumination optical apparatus comprising: an optical integrator which forms a multiple light source on the basis of the light beam from the light source; a guiding optical system which guides the light beam from the optical integrator to the illumination objective plane; a light beam-converting element which converts the light beam from the light source into a light beam having a predetermined cross-sectional configuration or a light beam having a predetermined light intensity distribution; and an aspect ratio-changing element which is arranged in the optical path between the light beam-converting element and the optical integrator and changes an aspect ratio of an incoming light beam in order to change an angle of incidence of the incoming light beam in a predetermined direction into the optical integrator.

According to the first and the second aspect of the present invention, the aspect ratio-changing element may be constructed

to be rotatable about a center of an optical axis of the aspect ratio-changing element. The aspect ratio-changing element may include a first aspect ratio-changing element which is arranged in the optical path between the light source and the optical integrator and changes an angle of incidence of the incoming light beam into the first optical integrator in a first direction, and a second aspect ratio-changing element which is arranged in the optical path between the light source and the optical integrator and changes an angle of incidence of the incoming light beam into the first optical integrator in a second direction traverse to the first direction. The aspect ratio-changing element may include a first prism which has a refractive surface having a concave cross section in the predetermined direction, a second prism which has a refractive surface having a convex cross section formed complementarily with the refractive surface having the concave cross section of the first prism, and a driving unit which is connected to at least one of the first prism and the second prism and moves at least one of the first prism and the second prism along an optical axis. In this case, the concave cross section of the first prism may have a V-shaped configuration.

According to a third aspect of the present invention, there is provided an exposure apparatus comprising: the illumination optical apparatus according to the first and second aspect of the present invention; and a projection optical system which projects an image of the pattern onto a photosensitive substrate arranged at an illumination objective plane.

According to a fourth aspect of the present invention, there is provided a method of manufacturing a microdevice, comprising the steps of: an exposing step of exposing a pattern on the mask onto the photosensitive substrate with the exposure apparatus according to the third aspect of the present invention; and a developing step of developing the photosensitive substrate exposed in the exposing step.

According to a fifth aspect of the present invention, there is provided An illumination optical apparatus comprising: an illumination optical system which illuminates an illumination objective; the illumination optical system comprising a varying mechanism which varies at least one of a size and a shape of an illumination light beam on a pupil of the illumination optical system, wherein: the varying mechanism includes a first displacement unit which is arranged in an illumination optical path and displaces the illumination light beam symmetrically with respect to an optical axis of the illumination optical system in a first direction perpendicular to the optical axis of the illumination optical system; a second displacement unit which is arranged in the illumination optical path and displaces the illumination light beam symmetrically with respect to the optical axis in a second direction which is perpendicular to the optical axis and which intersects the first direction; and a magnification-varying optical system which varies the size of the illumination light beam.

According to the fifth aspect of the present invention, the illumination optical system includes a light shape converter which converts the shape of the illumination light beam into a desired light beam shape and which guides the illumination light beam converted to have the desired light beam shape to the varying mechanism. Further, the light shape converter includes a first diffractive optical member which converts the shape of the illumination light beam into a first light beam shape, and a second diffractive optical member which is provided exchangeably with the first diffractive optical member and which converts the shape of the illumination light beam into a second light beam shape. Further, the illumination optical system includes an optical integrator which is arranged in an optical path between the varying mechanism and the illumination objective and which uniformly illuminates the illumination objective.

According to a sixth aspect of the present invention, there is provided an exposure method for exposing a pattern on a mask onto a photosensitive substrate, comprising: an illuminating step of illuminating the mask via an illumination optical system; and a projecting step of projecting an image of the pattern on the mask onto the photosensitive substrate, wherein: the illuminating step comprises a converting step of converting the illumination light beam into one having an annular configuration on the pupil of the illumination optical system; a first displacing step of displacing an illumination light beam symmetrically with respect to an optical axis of

the illumination optical system in a first direction perpendicular to the optical axis of the illumination optical system; a second displacing step of displacing the illumination light beam symmetrically with respect to the optical axis in a second direction which is perpendicular to the optical axis and which intersects the first direction; and a magnification varying step of varying a size of the illumination light beam.

According to a seventh aspect of the present invention, there is provided an exposure method for exposing a pattern on a mask onto a photosensitive substrate, comprising: an illuminating step of illuminating the mask via an illumination optical system; and a projecting step of projecting an image of the pattern on the mask onto the photosensitive substrate, wherein: the illuminating step comprises a first displacing step of displacing an illumination light beam symmetrically with respect to an optical axis of the illumination optical system in a first direction perpendicular to the optical axis of the illumination optical system; a second displacing step of displacing the illumination light beam symmetrically with respect to the optical axis in a second direction which is perpendicular to the optical axis and which intersects the first direction; and a changing step of changing a size of the illumination light beam.

According to a eighth aspect of the present invention, there is provided an exposure method for exposing a pattern on a



mask onto a photosensitive substrate, comprising: an illuminating step of illuminating the mask via an illumination optical system; and a projecting step of projecting an image of the pattern on the mask onto the photosensitive substrate, wherein: the illuminating step comprises a changing step of changing an illumination condition for the mask; the changing step comprises a selecting step of selecting at least one of a first setting step of setting a first illumination condition for the illumination optical system, and a second setting step of setting a second illumination condition for the illumination optical system; the first setting step comprises a step of converting the illumination light beam into one having an annular configuration on the pupil of the illumination optical system, a first displacing step of displacing the illumination light beam symmetrically with respect to the optical axis in the first direction which is perpendicular to the optical axis of the illumination optical system, and a second displacing step of displacing the illumination light beam symmetrically with respect to the optical axis in a second direction which is perpendicular to the optical axis and which intersects the first direction; and the second setting step comprises a first displacing step of displacing the illumination light beam symmetrically with respect to the optical axis in the first direction which is perpendicular to the optical axis of the illumination optical system, a second displacing step of displacing the illumination light beam symmetrically with respect to the optical axis in the second direction which is perpendicular to

the optical axis and which intersects the first direction, and a step of changing a size of the illumination light beam.

According to a ninth aspect of the present invention, there is provided an illumination optical apparatus comprising: an illumination optical system which illuminates an illumination objective; the illumination optical system comprising a varying mechanism which varies at least one of a size and a shape of an illumination light beam on a pupil of the illumination optical system, wherein: the varying mechanism includes an annular ratio-varying unit which converts the illumination light beam into one having an annular configuration with a desired annular ratio; and a first displacement unit which is arranged in an illumination optical path and displaces the illumination light beam symmetrically with respect to an optical axis of the illumination optical system in a first direction perpendicular to the optical axis of the illumination optical system.

According to the ninth aspect of the present invention, the varying mechanism includes a magnification-varying optical system which varies the size of the illumination light beam. Further, the varying mechanism includes a second displacement unit which is arranged in the illumination optical path and displaces the illumination light beam symmetrically with respect to the optical axis in a second direction which is perpendicular to the optical axis and which intersects the first direction. Further, the illumination optical system

includes a light shape converter which converts the shape of the illumination light beam into a desired light beam shape and which guides the illumination light beam converted to have the desired light beam shape to the varying mechanism. Further, the light shape converter includes a first diffractive optical member which converts the shape of the illumination light beam into a first light beam shape, and a second diffractive optical member which is provided exchangeably with the first diffractive optical member and which converts the shape of the illumination light beam into a second light beam shape. Further, the illumination optical system includes an optical integrator which is arranged in an optical path between the varying mechanism and the illumination objective and which uniformly illuminates the illumination objective.

According to a tenth aspect of the present invention, there is provided an exposure method for exposing a pattern on a mask onto a photosensitive substrate, comprising: an illuminating step of illuminating the mask via an illumination optical system; and a projecting step of projecting an image of the pattern on the mask onto the photosensitive substrate, wherein: the illuminating step comprises a varying step of varying at least one of a size and a shape of an illumination light beam on a pupil of the illumination optical system; the varying step comprises an annular ratio-varying step of converting the illumination light beam into one having an annular configuration having a desired annular ratio on the

pupil of the illumination optical system, and a first displacing step of displacing the illumination light beam symmetrically with respect to the optical axis of the illumination optical system in the first direction which is perpendicular to the optical axis.

According to the tenth aspect of the present invention, the varying step further comprises a step of changing a size of the illumination light beam. Further, the varying step further comprises a second displacing step of displacing the illumination light beam symmetrically with respect to the optical axis in a second direction which is perpendicular to the optical axis and which intersects the first direction. Further, the illuminating step further comprises a light shape-converting step of converting a shape of the illumination light beam into a desired light beam shape before the varying step. Further, the light shape-converting step comprises a first diffracting step of converting the shape of the illumination light beam into a first light beam shape by using a first diffractive optical member, and a second diffracting step of converting the shape of the illumination light beam into a second light beam shape by using a second diffractive optical member which is provided exchangeably with the first diffractive optical member. Further, the illuminating step comprises uniformly illuminating step of illuminating the illumination objective by using an optical integrator.

According to a eleventh aspect of the present invention, there is provided an exposure method for exposing a pattern on a mask onto a photosensitive substrate, comprising: an illuminating step of illuminating the mask via an illumination optical system; and a projecting step of projecting an image of the pattern on the mask onto the photosensitive substrate, wherein: the illuminating step comprises a changing step of changing an illumination condition for the mask; the changing step comprises a selecting step of selecting at least one of a first setting step of setting a first illumination condition for the illumination optical system, and a second setting step of setting a second illumination condition for the illumination optical system; the first setting step comprises an annular ratio varying step of converting a the illumination light beam into one having an annular configuration with a desired annular ratio on the pupil of the illumination optical system, and a changing step of changing a size of the illumination light beam; and the second setting step comprises a step of displacing the illumination light beam symmetrically with respect to the optical axis in a predetermined direction which is perpendicular to the optical axis of the illumination optical system, and a changing step of changing a size of the illumination light beam.

According to a twelfth aspect of the present invention, there is provided an exposure method for exposing a pattern on a mask onto a photosensitive substrate, comprising: an illuminating step of illuminating the mask via an illumination

optical system; and a projecting step of projecting an image of the pattern on the mask onto the photosensitive substrate, wherein: the illuminating step comprises an annular ratio varying step of converting a the illumination light beam into one having an annular configuration with a desired annular ratio on the pupil of the illumination optical system, and a step of displacing the illumination light beam symmetrically with respect to the optical axis in a first direction which is perpendicular to the optical axis of the illumination optical system, and a step of displacing the illumination light beam symmetrically with respect to the optical axis in the second direction which is perpendicular to the optical axis and which intersects the first direction.

According to a thirteenth aspect of the present invention, there is provided an exposure method for exposing a pattern on a mask onto a photosensitive substrate, comprising: an illuminating step of illuminating the mask via an illumination optical system; and a projecting step of projecting an image of the pattern on the mask onto the photosensitive substrate, wherein: the illuminating step comprises a changing step of changing an illumination condition for the mask; the changing step comprises a selecting step of selecting at least one of a first setting step of setting a first illumination condition for the illumination optical system, a second setting step of setting a second illumination condition for the illumination optical system, and a third setting step of setting a third illumination condition for the illumination optical system;

the first setting step comprises an annular ratio varying step of converting a the illumination light beam into one having an annular configuration with a desired annular ratio on the pupil of the illumination optical system, a first displacing step of displacing the illumination light beam symmetrically with respect to the optical axis in a first direction which is perpendicular to the optical axis of the illumination optical system, and a second displacing step of displacing the illumination light beam symmetrically with respect to the optical axis in the second direction which is perpendicular to the optical axis and which intersects the first direction; the second setting step comprises an annular ratio varying step of converting a the illumination light beam into one having an annular configuration with a desired annular ratio, and a changing step of changing a size of the illumination light beam; the third setting step comprises a first displacing step of displacing the illumination light beam symmetrically with respect to the optical axis in a first direction which is perpendicular to the optical axis of the illumination optical system, a second displacing step of displacing the illumination light beam symmetrically with respect to the optical axis in the second direction which is perpendicular to the optical axis and which intersects the first direction, and a changing step of changing a size of the illumination light beam.

According to a fourteenth aspect of the present invention, there is provided an exposure apparatus comprising: the

illumination optical apparatus according to the fifth or the ninth aspect of the present invention; and a projection optical system which projects an image of the pattern onto a photosensitive substrate arranged at an illumination objective plane.

According to a fifteenth aspect of the present invention, there is provided a method of manufacturing a microdevice, comprising the steps of: an exposing step of exposing a pattern on the mask onto the photosensitive substrate with the exposure apparatus according to the fourteenth aspect of the present invention; and a developing step of developing the photosensitive substrate exposed in the exposing step.

According to a sixteenth aspect of the present invention, there is provided a method of manufacturing a microdevice, comprising the steps of: an exposing step of exposing a pattern on the mask onto the photosensitive substrate by using the exposing method according to one of the sixth to eighth aspects, or the tenth to thirteenth aspects of the present invention; and a developing step of developing the photosensitive substrate exposed in the exposing step.

According to a seventeenth aspect of the present invention, there is provided an exposure method for exposing a pattern on a mask onto a photosensitive substrate, comprising: an illuminating step of illuminating the mask via an illumination optical system; a projecting step of projecting an image of



the pattern on the mask onto the photosensitive substrate by using a projection optical system, and a measuring step of measuring an optical characteristic of the projection optical system, wherein the illuminating step comprises: an exposure condition-setting step of setting a  $\sigma$  value as an illumination condition to be within a range of  $0.4 \leq \sigma \leq 0.95$  when the projecting step is executed; and a measuring condition-setting step of setting the  $\sigma$  value as the illumination condition to be within a range of  $0.01 \leq \sigma \leq 0.3$  when the measuring step is executed. In this case, a scanning step of moving the mask and the photosensitive substrate in a scanning direction when the projecting step is executed, wherein: the illuminating step comprises a step of forming a rectangular illumination area having a length  $L_s$  of a longitudinal direction and a length  $L_l$  of a transverse direction on the mask; and a relationship of  $0.05 \leq L_s/L_l \leq 0.7$  is satisfied.

According to a eighteenth aspect of the present invention, there is provided an exposure apparatus for exposing a pattern on a mask onto a photosensitive substrate, comprising: an illumination optical system which illuminates the mask; and a projection optical system which projects an image of the pattern on the mask onto the photosensitive substrate, wherein: the illumination optical system includes an illumination condition-setting mechanism which is attached to the illumination optical system and sets a  $\sigma$  value as an illumination condition to be within a range of  $0.4 \leq \sigma \leq 0.95$  when the photosensitive substrate is exposed with the pattern

on the mask and which sets the  $\sigma$  value as the illumination condition to be within a range of  $0.01 \leq \sigma \leq 0.3$  when an optical characteristic of the projection optical system is measured. In this case, the exposure apparatus further comprises a scanning unit which moves the mask and the photosensitive substrate in a scanning direction when the photosensitive substrate is exposed with the pattern on the mask, wherein: a relationship of  $0.05 \leq L_s/L_l \leq 0.7$  is satisfied provided that  $L_s$  represents a length in a transverse direction of an illumination area formed on the mask by the illumination optical system, and  $L_l$  represents a length in a longitudinal direction of the illumination area formed on the mask by the illumination optical system.

#### DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENTS

In a typical embodiment of the present invention, for example, a light beam-converting element such as a diffraction optical element (diffractive optical element; DOE) is used to convert a light beam from a light source into a light beam having a quadrupole (four-spot) or annular configuration. The four-spot or annular light beam is collected by a predetermined optical system, and it comes, from an oblique direction with respect to the optical axis, into a first optical integrator such as a micro fly's eye lens or a micro lens array (hereinafter referred to as "micro fly's eye"). Accordingly, a first multiple light source is formed by the micro fly's eye. The light beam from the first multiple light source passes through

a predetermined optical system, and then it forms a second multiple light source, i.e., a four-spot or annular secondary light source by the aid of a second optical integrator such as a fly's eye lens.

In the present invention, the apparatus is provided with an aspect ratio-changing element for changing the aspect ratio of the incoming light beam, in order to change the angle of incidence of the incoming light beam into the micro fly's eye in a predetermined direction. The aspect ratio-changing element includes, for example, a first prism which has a refractive surface having a V-shaped concave cross section in a predetermined direction, and a second prism which has a refractive surface having a V-shaped convex cross section formed complementarily with respect to the refractive surface of the V-shaped concave cross section of the first prism. Further, at least any one of the first prism and the second prism is constructed to be movable along the optical axis.

Therefore, when the spacing distance between the concave refractive surface of the first prism and the V-shaped convex refractive surface of the second prism is changed, the entire size of the four-spot or annular secondary light source is changed in a predetermined direction. As a result, the illumination optical apparatus according to the present invention makes it possible to realize mutually different illumination conditions in two directions perpendicular to one another on the illumination objective plane. Therefore, when

the exposure apparatus, which is incorporated with the illumination optical apparatus of the present invention, is used, it is possible to set optimum illumination conditions in the two orthogonal directions perpendicular to one another on a mask on which the pattern has orientation. Thus, a good microdevice can be produced under a good illumination condition.

The embodiments of the present invention will be explained on the basis of the accompanying drawings.

(First Embodiment)

FIG. 1 schematically shows an arrangement of an exposure apparatus provided with an illumination optical apparatus according to a first embodiment of the present invention. With reference to FIG. 1, the X, Y and Z axes are set as follows. That is, the Z axis extends in the direction of the normal line of a wafer as a photosensitive substrate, the Y axis extends in the direction parallel to the plane of paper of FIG. 1 in the wafer surface, and the X axis extends in the direction perpendicular to the plane of paper of FIG. 1 in the wafer surface. In FIG. 1, the illumination optical apparatus is set to perform the quadrupole illumination.

The exposure apparatus shown in FIG. 1 is provided with an excimer laser light source for supplying the light having a wavelength of, for example, 248 nm (KrF) or 193 nm (ArF) as a

light source 1 for supplying the exposure light beam (illumination light beam). The substantially parallel light beam, which is radiated from the light source 1 in the Z direction, comes into a beam expander 2 which has a rectangular cross section extending slenderly in the X direction and which is composed of a pair of lenses 2a, 2b. The respective lenses 2a, 2b have the negative refractive power and the positive refractive power in the plane of paper of FIG. 1 (in the YZ plane) respectively. Therefore, the light beam, which comes into the beam expander 2, is enlarged in the plane of paper of FIG. 1, and it is shaped into a light beam having a predetermined rectangular cross section.

The substantially parallel light beam, which has passes through the beam expander 2 as the shaping optical system, is deflected by a bending mirror 3 in the Y direction, and then it comes into a diffracting optical element (diffractive optical element: DOE) 4 for the quadrupole illumination. In general, the diffracting optical element is constructed such that the difference in height having a pitch approximately equal to the wavelength of the exposure light beam (illumination light beam) is formed on a glass substrate. The diffracting optical element has a function to diffract the incoming light beam at a desired angle. The light beam, which comes into the diffracting optical element 4 for the quadrupole illumination, is diffracted in specified four directions at equal angles about the center of the optical axis AX to provide four light beams, i.e., the four-spot light beam. As described above, the diffracting

optical element 4 constitutes a light beam-converting element for converting the light beam from the light source 1 into the four-spot light beam.

The diffracting optical element 4 is insertable and detachable with respect to the illumination optical path, and it is exchangeable with a diffracting optical element 4a for the annular illumination and a diffracting optical element 4b for the conventional circular illumination. The construction and the function of the diffracting optical element 4a for the annular illumination and the diffracting optical element 4b for the conventional circular illumination will be described later on. In this embodiment, the diffracting optical element 4 for the quadrupole illumination is exchanged with the diffracting optical element 4a for the annular illumination or the diffracting optical element 4b for the conventional circular illumination by means of a first driving system 22 which is operated on the basis of a command from a control system 21.

The four-spot light beam, which is formed by the aid of the diffracting optical element 4, comes into an afocal zoom lens (magnification-varying relay optical system) 5 to form four spot images (spot-shaped light sources) on the pupil plane. The light beams from the four spot images form a substantially parallel light beam which outgoes from the afocal zoom lens 5 and which comes into a micro fly's eye 6. The afocal zoom lens 5 is constructed such that the diffracting optical element 4 and the light-incoming surface of the micro fly's eye 6 are

maintained to be in an optically substantially conjugate relationship, and the magnification can be continuously changed within a predetermined range while maintaining the afocal system (afocal optical system). In this arrangement, the magnification of the afocal zoom lens 5 is changed by using a second driving system 23 which is operated on the basis of a command from the control system 21.

Accordingly, the light beam comes into the light-incoming surface of the micro fly's eye 6 from an oblique direction substantially symmetrically with respect to the optical axis AX. The micro fly's eye 6 is an optical element composed of a large number of regular hexagonal minute lenses having the positive refractive power arranged densely in the vertical and lateral directions. In general, the micro fly's eye is constructed such that a plane parallel glass plate is subjected to an etching treatment to form a group of minute lenses.

In this arrangement, the respective minute lenses, which constitute the micro fly's eye, are more minute than the respective lens elements which constitute the fly's eye lens. In the micro fly's eye, the large number of minute lenses are formed in an integrated manner without being isolated from each other, unlike the fly's eye lens which is composed of the lens elements isolated from each other. However, the micro fly's eye is the same as the fly's eye lens in that the lens elements having the positive refractive power are arranged vertically and laterally. In FIG. 1, for the purpose of clarification of

the drawing, the minute lenses for constructing the micro fly's eye are depicted in a number which is extremely smaller than the actual number.

Therefore, the light beam, which comes into the micro fly's eye 6, is two-dimensionally divided by the large number of minute lenses. One group of light source including four spots is formed on the rear side focal plane of each of the minute lenses. As described above, the micro fly's eye 6 constitute a first optical integrator for forming a first multiple light source composed of a large number of light sources on the basis of the light beam coming from the light source 1.

The light beam from the large number of light sources formed on the rear side focal plane of the micro fly's eye 6 illuminates, in a superimposed manner, a fly's eye lens 8 as a second optical integrator via a zoom lens (magnification-varying optical system) 7. The zoom lens is a magnification-varying optical system for varying the  $\sigma$  value in which the focal length can be continuously changed within a predetermined range. The zoom lens 7 optically connects the rear side focal plane of the micro fly's eye 6 and the rear side focal plane of the fly's eye lens 8 in a substantially conjugate manner. In other words, the zoom lens 7 connects the rear side focal plane of the micro fly's eye 6 and the light-incoming surface of the fly's eye lens 8 substantially in a relationship of Fourier transform.



Therefore, the light beam, which comes from the large number of four-spot light sources formed on the rear side focal plane of the micro fly's eye 6, forms a four-spot field composed of four illumination fields which are symmetrically eccentric with respect to the optical axis AX, on the rear side focal plane of the zoom lens 7, and consequently on the light-incoming surface of the fly's eye lens 8. The size of the quadrupole illumination field is changed depending on the focal length of the zoom lens 7. The focal length of the zoom lens 7 is changed by using a third driving system 24 which is operated on the basis of a command from the control system 21.

The fly's eye lens 8 is constructed such that a large number of lens elements having the positive refractive power are arranged densely in the vertical and lateral directions. Each of the respective lens elements for constructing the fly's eye lens 8 has a rectangular cross section which is similar to the shape of the illumination field to be formed on the mask (and consequently to the shape of the exposure area to be formed on the wafer). The surface of each of the lens elements for constructing the fly's eye lens 8, which is disposed on the light-incoming side, is formed to have a spherical configuration with its convex surface directed toward the light-incoming side, and the surface, which is disposed on the light-outgoing side, is formed to have a spherical configuration with its convex surface directed toward the light-outgoing side. Therefore, the light beam, which comes into the fly's eye lens 8, is divided two-dimensionally by the

large number of lens elements. A large number of light sources are formed respectively on the rear side focal planes of the respective lens elements into which the light beam has come.

Accordingly, as shown in FIG. 2, a secondary light source, which has substantially the same light intensity distribution as that of the illumination field formed by the incoming light beam into the fly's eye lens 8, i.e., a quadrupole secondary light source substantially composed of four surface light sources 31 to 34 which are symmetrically eccentric with respect to the optical axis AX, is formed on the rear side focal plane of the fly's eye lens 8. As described above, the fly's eye lens 8 constitutes the second optical integrator for forming the second multiple light source composed of light sources of a larger number, on the basis of the light beam from the first multiple light source formed on the rear side focal plane of the micro fly's eye 6 as the first optical integrator.

The light beam, which comes from the quadrupole secondary light source formed on the rear side focal plane of the fly's eye lens 8, is restricted by an aperture diaphragm having a four-spot light-transmitting section, if necessary, and then the light beam is subjected to the light-collecting action of a condenser optical system 9. After that, the light beam illuminates, in a superimposed manner, the mask M on which a predetermined pattern is formed. The light beam, which has transmitted through the pattern on the mask M, forms an image of the mask pattern on the wafer W as a photosensitive

substrate by the aid of a projection optical system PL. In accordance with this procedure, the full field exposure or the scanning exposure is performed while two-dimensionally driving and controlling the wafer W in the plane (XY plane) perpendicular to the optical axis AX of the projection optical system PL. Thus, the respective exposure areas on the wafer W are successively exposed with the pattern on the mask M.

In the full field exposure, each of the exposure areas on the wafer is collectively exposed with the mask pattern in accordance with the so-called step-and-repeat system. In this case, the shape of the illumination area on the mask M is a rectangular configuration which is close to a square. The cross-sectional configuration of each of the lens elements of the fly's eye lens 8 is also a rectangular configuration which is close to a square. On the other hand, in the scanning exposure, each of the exposure areas on the wafer is subjected to scanning exposure with the mask pattern while relatively moving the mask and the wafer with respect to the projection optical system in accordance with the so-called step-and-scan system. In this case, the shape of the illumination area on the mask M is a rectangular configuration in which the ratio between the short side and the long side is, for example, 1:3. The cross-sectional configuration of each of the lens elements of the fly's eye lens 8 is also a rectangular configuration which is similar thereto.

With reference to FIG. 2 again, the quadrupole secondary light

source, which is formed on the rear side focal plane of the fly's eye lens 8, is constructed by the four regular hexagonal surface light sources 31 to 34. In this case, the centers 31a to 34a of the respective surface light sources are separated from each other by the same distance from the optical axis AX. The quadrilateral, which is formed by connecting the four centers 31a to 34a, is a square which has sides parallel to the X direction and the Z direction about the center of the optical axis AX. That is, the quadrupole secondary light sources, which are formed by the fly's eye lens 8, are located in the same positional relationship concerning the X direction and the Z direction.

Therefore, the cross-sectional configuration of the light beam coming into an arbitrary one point on the mask M as the illumination objective plane also has a four-spot configuration having the same positional relationship concerning the X direction and the Z direction. In other words, the illumination condition is identical for the perpendicular two directions (X direction and Y direction) on the mask M. Accordingly, in the first embodiment, in order to realize mutually different illumination conditions in the perpendicular two directions on the mask M, a V-shaped axicon 10, which is composed of a pair of prisms 10a, 10b, is arranged in the optical path of the afocal zoom lens 5.

FIG. 3 schematically shows an arrangement of the pair of prisms for constructing a V-shaped axicon system (hereinafter simply

referred to as "V-shaped axicon") arranged in the optical path of the afocal zoom lens. As shown in FIGS. 1 and 3, the V-shaped axicon 10 comprises a first prism 10a which has a flat plane directed toward the light source and a concave refraction plane directed toward the illumination objective plane, and a second prism 10b which has a flat plane directed toward the illumination objective plane and a convex refraction plane directed toward the light source, the first prism 10a and the second prism 10b being arranged in this order from the side of the light source. The concave refraction plane 10c of the first prism 10a includes two flat surfaces which are parallel in the X direction, and it has a V-shaped convex cross section in the Z direction.

The convex refraction plane 10d of the second prism 10b is formed so that it is capable of making mutual abutment against the concave refraction plane 10c of the first prism 10a. In other words, the convex refraction plane 10d of the second prism 10b is formed complementarily with respect to the concave refraction plane 10c of the first prism 10a. That is, the concave refraction plane 10d of the second prism 10b is constructed by the two flat surfaces which are parallel in the X direction, having a V-shaped concave cross section in the Z direction. At least one of the first prism 10a and the second prism 10b is constructed to be movable along the optical axis AX. The spacing distance between the concave refraction plane 10c and the convex refraction plane 10d is constructed to be variable.

The change of the spacing distance of the V-shaped axicon 10, i.e., the change of the spacing distance between the concave refraction plane 10c and the convex refraction plane 10d is effected by a fourth driving system 25 which is operated on the basis of a command from the control system 21. For example, the information, which concerns a variety of masks to be successively exposed in accordance with the step-and-repeat system or the step-and-scan system, is inputted into the control system 21 by the aid of an input unit 20 such as a keyboard.

In this arrangement, the V-shaped axicon 10 functions as a plane parallel plate, and no influence is exerted on the quadrupole secondary light source to be formed, in a state in which the concave refraction plane 10c of the first prism 10a abuts against the convex refraction plane 10d of the second prism 10b. However, when the concave refraction plane 10c of the first prism 10a and the convex refraction plane 10d of the second prism 10b are separated from each other, then the V-shaped axicon 10 functions as a plane parallel plate in the X direction, but it functions as a beam expander in the Z direction.

Therefore, when the spacing distance between the concave refraction plane 10c and the convex refraction plane 10d is changed, then the angle of incidence of the incoming light beam into the micro fly's eye 6 in the X direction is not changed,

but the angle of incidence of the incoming light beam into the micro fly's eye 6 in the Y direction is changed. As a result, the centers 31a to 34a of the respective surface light sources 31 to 34 shown in FIG. 2 are not moved in the X direction, but they are moved in the Z direction. In this way, the V-shaped axicon 10 constitutes an aspect ratio-changing element for changing the aspect ratio of the incoming light beam, because it changes the angle of incidence of the incoming light beam into the micro fly's eye 6 in the Y direction.

FIG. 4 schematically illustrates the influence exerted on the quadrupole secondary light source by the change of the spacing distance of the V-shaped axicon, the change of the magnification of the afocal zoom lens, and the change of the focal length of the zoom lens. As shown in FIG. 4A, when the spacing distance of the V-shaped axicon 10 is zero, i.e., when the concave refraction plane 10c abuts against the convex refraction plane 10d, then the respective surface light sources for constructing the quadrupole secondary light source are formed in the same positional relationship in relation to the X direction and the Z direction. When the spacing distance of the V-shaped axicon 10 is changed from zero to a predetermined size, then the respective surface light sources are moved in the Z direction without changing the shape and the size thereof as shown in FIG. 4B, and the spacing distance between the centers of the respective surface light sources in the X direction is not changed, but the spacing distance in the Z direction is increased.

When the magnification of the afocal zoom lens 5 is changed in the state in which the spacing distance of the V-shaped axicon 10 is zero, then the respective surface light sources are moved by the same distance in the X direction and the Z direction without changing the shape and the size thereof as shown in FIG. 4C, and the spacing distance between the respective surface light sources is increased or decreased. Further, when the focal length of the zoom lens 7 is changed in the state in which the spacing distance of the V-shaped axicon 10 is zero, the entire quadrupole secondary light source is similarly increased or decreased as shown in FIG. 4D. That is, the size of each of the surface light sources is increased or decreased without changing the shape thereof, and the respective surface light sources are moved by the same distance in the X direction and the Z direction. In order to avoid any deterioration of the prism members 10a, 10b which would be otherwise caused by the radiation of laser, it is preferable that the prism members 10a, 10b are arranged while being separated by a spacing distance from the light-collecting point at which the four spot images are formed in the optical path of the afocal zoom lens 5.

As described above, the diffracting optical element 4 is constructed insertably and detachably with respect to the illumination optical path. Further, the diffracting optical element 4 is exchangeable with the diffracting optical element 4a for the annular illumination or the diffracting optical



element 4b for the conventional circular illumination. Brief description will be made below for the annular illumination obtained by setting the diffracting optical element 4a in the illumination optical path in place of the diffracting optical element 4.

When the diffracting optical element 4a for the annular illumination is set in the illumination optical path in place of the diffracting optical element 4 for the quadrupole illumination, an annular light beam is formed by the aid of the diffracting optical element 4a. The annular light beam, which is formed by the aid of the diffracting optical element 4a, comes into the afocal zoom lens 5 to form a ring-shaped image (ring-shaped light source) on the pupil plane. The light beam from the ring-shaped image forms a substantially parallel light beam to be radiated from the afocal zoom lens 5, and it forms a first multiple light source on the rear side focal plane of the micro fly's eye 6.

The light beam from the first multiple light source which is formed by the micro fly's eye 6 forms an annular illumination field about the center of the optical axis AX on the light-incoming surface of the fly's eye lens 8 by the aid of the zoom lens 7. As a result, a secondary light source which has substantially the same light intensity as that of the illumination field formed on the light-incoming surface, i.e., an annular secondary light source which is formed about the center of the optical axis AX is formed on the rear side focal

plane of the fly's eye lens 8.

FIG. 5 schematically illustrates the influence exerted on the annular secondary light source by the change of the spacing distance of the V-shaped axicon, the change of the magnification of the afocal zoom lens, and the change of the focal length of the zoom lens. As shown in FIG. 5A, when the spacing distance of the V-shaped axicon 10 is zero, i.e., when the concave refraction plane 10c abuts against the convex refraction plane 10d, then the respective surface light sources for constructing the annular secondary light source are formed in the same positional relationship in relation to the X direction and the Z direction. When the spacing distance of the V-shaped axicon 10 is changed from zero to a predetermined size, then the entire size of the annular secondary light source is increased in the Z direction without changing the width of the annular secondary light source as shown in FIG. 5B to form an elliptic annular secondary light source extending in the Z direction.

When the magnification of the afocal zoom lens 5 is changed in the state in which the spacing distance of the V-shaped axicon 10 is zero, then the outer diameter (size) of the annular secondary light source is increased or decreased without changing the width thereof as shown in FIG. 5C. Further, when the focal length of the zoom lens 7 is changed in the state in which the spacing distance of the V-shaped axicon 10 is zero, the entire annular secondary light source is similarly

increased or decreased as shown in FIG. 5D. That is, both of the width and the outer diameter of the annular secondary light source are increased or decreased.

Next, explanation will be made for the conventional circular illumination obtained by setting the diffracting optical element 4b for the circular illumination in the illumination optical path in place of the diffracting optical element 4 or 4a. The diffracting optical element 4b for the circular illumination has a function to convert the incoming rectangular light beam into a circular light beam. Therefore, the circular light beam, which is formed by the diffracting optical element 4b, is magnified or reduced by the afocal zoom lens 5 in accordance with the magnification thereof, and it comes into the micro fly's eye 6.

Accordingly, a first multiple light source is formed on the rear side focal plane of the micro fly's eye 6. The light beam from the first multiple light source which is formed on the rear side focal plane of the micro fly's eye 6 forms a circular illumination field about the center of the optical axis AX on the light-incoming surface of the fly's eye lens 8 by the aid of the zoom lens 7. As a result, a circular secondary light source, which is formed about the center of the optical axis AX, is also formed on the rear side focal plane of the fly's eye lens 8.

In this case, when the spacing distance of the V-shaped axicon

10 is changed from zero to a predetermined size, the circular secondary light source is enlarged in the Z direction to form an elliptic secondary light source extending in the Z direction. When the magnification of the afocal zoom lens 5 is changed, or when the focal length of the zoom lens 7 is changed in the state in which the spacing distance of the V-shaped axicon 10 is zero, then the entire circular secondary light source is similarly enlarged or reduced. That is, the outer diameter (size) of the circular secondary light source is magnified or reduced.

As described above, in the first embodiment, the entire size of the secondary light source is changed in the Z direction without being changed in the X direction by changing the spacing distance of the V-shaped axicon 10. As a result, it is possible to realize the mutually different illumination conditions in the perpendicular two directions (X direction and Y direction) on the mask M. Consequently, it is possible to set the optimum illumination conditions in the perpendicular two directions on the mask M on which the pattern has the orientation.

In the embodiment described above, as shown in FIG. 6A, the V-shaped axicon 10 is constructed by the first prism which has the V-shaped concave cross section and the second prism which has the V-shaped convex cross section. However, there is no limitation thereto. As shown in FIG. 6B, portions of the V-shaped concave cross section and the V-shaped convex cross

section, which are disposed in the vicinity of the apexes, may be formed to have flat surface configurations perpendicular to the optical axis AX as well. Alternatively, in order to obtain an elliptic annular secondary light source or an elliptic secondary light source in which the contour is relatively smooth for the annular illumination or the circular illumination, it is preferable that portions of the V-shaped concave cross section and the V-shaped convex cross section, which are disposed in the vicinity of the apexes, are formed to have cylindrical configurations as shown in FIG. 6C.

In the embodiment described above, the entire size of the secondary light source is changed in the Z direction without being changed in the X direction by changing the spacing distance of the V-shaped axicon 10. However, as shown in FIG. 7A, the V-shaped axicon 10 may be constructed to be rotatable about the center of the optical axis AX, and thus the entire size of the secondary light source may be changed in a desired direction (for example, in the X direction) as well.

Alternatively, as shown in FIG. 7B, the entire size of the secondary light source may be independently changed in the X direction and the Z direction respectively as well by arranging two pairs of V-shaped axicons in which the acting directions are perpendicular to one another. In this case, when the two pairs of the V-shaped axicons are constructed to be rotatable about the center of the optical axis AX integrally or independently, the entire size of the secondary light source

may be independently changed in arbitrary perpendicular two directions or in arbitrary two directions respectively as well.

In the first embodiment described above, the diffracting optical elements 4, 4a, 4b as the light beam-converting elements may be also positioned in the illumination optical path, for example, in accordance with the turret system or by using the known slider mechanism.

In the first embodiment described above, the shape of the minute lens for constructing the micro fly's eye 6 is set to be regular hexagonal, for the following reason. That is, the regular hexagonal configuration is selected as a polygon which is close to a circle, because circular minute lenses cannot be arranged densely, resulting in occurrence of any light amount loss. However, the shape of each of the minute lenses for constructing the micro fly's eye 6 is not limited thereto. It is possible to use other appropriate shapes including, for example, rectangular shapes.

Further, in the first embodiment described above, the diffracting optical element 4b is positioned in the illumination optical path when the conventional circular illumination is performed. However, it is also possible to omit the use of the diffracting optical element 4b. Further, in the first embodiment described above, the diffracting optical element is used as the light beam-converting element. However, there is no limitation thereto. It is also possible to use, for

example, a micro fly's eye or a minute prism array. Detailed explanation concerning the diffracting optical element capable of being used in the present invention is disclosed, for example, in U.S. Pat. No. 5,850,300 and Japanese Patent Application Laid-open No. 2001-174615 (corresponding to U.S. patent application Ser. No. 09/549,720 filed on Apr. 14, 2000). The content of U.S. Pat. No. 5,850,300 and Japanese Patent Application Laid-open No. 2001-174615 (corresponds to U.S. patent application Ser. No. 09/549,720) is incorporated herein by reference.

The first embodiment described above is constructed such that the light beam from the secondary light source is collected by using the condenser optical system 9 to illuminate the mask M in the superimposed manner. However, an illumination field stop (mask blind) and a relay optical system for forming an image of the illumination field stop on the mask M may be arranged between the condenser optical system 9 and the mask M. In this case, the condenser optical system 9 collects the light from the secondary light source to illuminate the illumination field stop in a superimposed manner. The relay optical system forms the image of an aperture (light-transmitting section) of the illumination field stop on the mask M.

Further, in the first embodiment described above, the fly's eye lens 8 is formed by accumulating the plurality of element lenses. However, it is also possible that they are micro fly's eyes. As described above, the micro fly's eye is formed such

that a plurality of minute lens surfaces are provided in a matrix configuration on a light-transmitting substrate by means of a technique such as etching. There is no substantial functional difference between the fly's eye lens and the micro fly's eye in relation to the fact that a plurality of light source images are formed. However, the micro fly's eye is advantageous, for example, because the size of the aperture of one element lens (minute lens) can be made extremely small, the production cost can be greatly reduced, and the thickness in the optical axis direction can be made extremely thin.

(Second Embodiment)

FIG. 10 schematically shows an arrangement of an exposure apparatus provided with an illumination optical apparatus according to a second embodiment of the present invention. The second embodiment is constructed similarly to the first embodiment. However, the former is basically different from the latter in the arrangement ranging from the bending mirror 3 to the zoom lens 7, the use of a micro fly's eye (micro lens array) 8a in place of the fly's eye lens 8, and the arrangement ranging from the condenser optical system 9 to the mask M. The second embodiment will be explained below while attracting the attention to the difference from the first embodiment. In FIG. 10, the illumination optical apparatus 4 is set to perform the quadrupole illumination.

In the second embodiment, the substantially parallel light



beam, which is radiated from the light source 1, passes along the beam expander 2 and the bending mirror 3, and it comes into the diffracting optical element 11a for the quadrupole illumination. The diffracting optical element 11a has a function to form a four-spot light intensity distribution in the far field thereof (Fraunhofer diffraction area) when the parallel light beam having a rectangular cross section comes thereinto. The diffracting optical element 11a for the quadrupole illumination is constructed insertably and detachably with respect to the illumination optical path. The diffracting optical element 11a for the quadrupole illumination is exchangeable with the diffracting optical element 11b for the annular illumination or the diffracting optical element 11c for the circular illumination.

Specifically, the diffracting optical element 11a is supported on a turret substrate (rotary plate, not shown in FIG. 10) which is rotatable about a predetermined axis parallel to the optical axis AX. Those provided on the turret substrate in the circumferential direction are a plurality of diffracting optical elements 11a having different characteristics for the quadrupole illumination, a plurality of diffracting optical elements 11b having different characteristics for the annular illumination, and a plurality of diffracting optical elements 11c having different characteristics for the circular illumination. The turret substrate is rotatable about the axis which passes through the central point and which is parallel to the optical axis AX.

Therefore, a desired diffracting optical element, which is selected from the large number of diffracting optical elements 11a to 11c, can be positioned in the illumination optical path by rotating the turret substrate. The rotation of the turret substrate (and consequently the switching for the diffracting optical elements 11a, 11b) is performed by a driving system 26 which is operated on the basis of a command from the control system 21. However, there is no limitation to the turret system. For example, the switching for the diffracting optical elements 11a, 11b, 11c may be also performed in accordance with a known slide system.

The light beam, which has passed through the diffracting optical element 11a as a light shape converter, comes into an afocal lens (relay optical system) 12. The afocal lens 12 is an afocal system (afocal optical system) which is set so that the position of the front side focus position and the position of the diffracting optical element 11a are substantially coincident with each other, and the rear side focus position and the position of a predetermined plane 13 indicated by a broken line in the drawing are substantially coincident with each other. The position of the predetermined plane 13 corresponds to the position at which the micro fly's eye 6 is installed in the first embodiment.

Therefore, the substantially parallel light beam, which comes into the diffracting optical element 11a, forms the four-spot

light intensity distribution on the pupil plane of the afocal lens 12, and then it forms a substantially parallel light beam to be radiated from the afocal lens 12. A conical axicon 14, a first V-shaped axicon 15, and a second V-shaped axicon 16 are arranged in this order from the side of the light source in the optical path between a front side lens group 12a and a rear side lens group 12b of the afocal lens 12. Detailed arrangement and function of these components will be described later on. Basic arrangement and function of the second embodiment will be described below while omitting the function of the axicons 14 to 16 in order to simplify the description.

The light beam, which has passed through the afocal lens 12, comes into a micro fly's eye 8a as an optical integrator via a zoom lens (magnification-varying optical system) 7 for varying the  $\sigma$  value. The  $\sigma$  value is defined as  $\sigma = NA_i / NA_o = R_2 / R_1$  provided that  $R_1$  represents the size (diameter) of the pupil of the projection optical system PL,  $R_2$  represents the size (diameter) of the illumination light beam or the light source image formed on the pupil of the projection optical system PL,  $NA_o$  represents the numerical aperture on the side of the mask (reticle) M of the projection optical system PL, and  $NA_i$  represents the numerical aperture of the illumination optical system for illuminating the mask (reticle) M. However, in the case of the annular illumination,  $R_2$  represents the outer diameter of the annular illumination light beam or the annular light source image which is formed on the pupil of the projection optical system PL, and  $NA_i$  represents the numerical

aperture which is determined by the outer diameter of the annular light beam formed on the pupil of the illumination optical system. In the case of the quadrupole illumination or the like,  $R_2$  represents the size or the diameter of the circle which circumscribes the multiple-spot illumination light beam or the multiple-spot light source image formed on the pupil of the projection optical system PL, and  $NA_i$  represents the numerical aperture which is determined by the size or the diameter of the circle circumscribing the multiple-spot illumination light beam formed on the pupil of the illumination optical system. In the case of the annular illumination, the annular ratio is defined by  $R_i/R_o$  provided that  $R_o$  represents the outer diameter of the annular illumination light beam, and  $R_i$  represents the inner diameter of the annular illumination light beam.

The predetermined plane 13 is arranged at the position in the vicinity of the front side focus position of the zoom lens 7. The light-incoming surface of the micro fly's eye 8 is arranged in the vicinity of the rear side focus position of the zoom lens 7. In other words, the zoom lens 7 serves to arrange the predetermined plane 13 and the light-incoming surface of the micro fly's eye 8a substantially in a relationship of Fourier transform, and consequently arrange the pupil plane of the afocal lens 12 and the light-incoming surface of the micro fly's eye 8a optically substantially in a conjugate manner. Therefore, a quadrupole illumination field, which is composed of, for example, four illumination fields eccentric with

respect to the optical axis AX, is formed on the light-incoming surface of the micro fly's eye 8a which has the same function as that of the fly's eye lens 8 in the first embodiment, in the same manner as for the pupil plane of the afocal lens 12. The shape of each of the illumination fields for constructing the quadrupole illumination field depends on the characteristic of the diffracting optical element 11a. However, in this case, it is assumed that the quadrupole illumination field, which is composed of four circular illumination fields, is formed. The entire shape of the quadrupole illumination field is changed similarly depending on the focal length of the zoom lens 7.

Each of the minute lenses for constructing the micro fly's eye 8a has a rectangular cross section which is similar to the shape of the illumination field to be formed on the mask M (and consequently the shape of the exposure area to be formed on the wafer W). The light beam, which has come into the micro fly's eye 8a, is two-dimensionally divided by the large number of minute lenses to form, on the rear side focal plane (and consequently on the pupil of the illumination optical system), the secondary light source having substantially the same light intensity distribution as that of the illumination field to be formed by the light beam coming into the micro fly's eye 8a; i.e., the quadrupole secondary light source composed of four circular substantial surface light sources eccentric with respect to the optical axis AX.

The light beam, which comes from the quadrupole secondary light

source formed on the rear side focal plane of the micro fly's eye 8a, is subjected to the light-collecting action of the condenser optical system 9, and then it illuminates, in a superimposed manner, a mask blind 17 as an illumination field stop. The light beam, which has passed through the rectangular aperture (light-transmitting section) of the mask blind 17, is subjected to the light-collecting action of an image-forming optical system 18, and then it illuminates the mask M in a superimposed manner. The light beam, which has passed through a pattern on the mask M, forms an image of the mask pattern on the wafer W by the aid of the projection optical system PL. A variable aperture diaphragm for defining the numerical aperture of the projection optical system PL is provided in the projection optical system PL. The pupil of projection optical system PL is positioned at a position of the image of the variable aperture diaphragm. The variable aperture diaphragm is driven by a driving system 27 which is operated on the basis of a command from the control system 21.

FIG. 11 shows a perspective view schematically illustrating an arrangement of three axicon systems (hereinafter simply referred to as "axicons") which are arranged in the optical path between the front side lens group and the rear side lens group of the afocal lens in the second embodiment. In the second embodiment, as shown in FIG. 11, the conical axicon 14, the first V-shaped axicon 15, and the second V-shaped axicon 16 are arranged in this order from the side of the light source in the optical path between the front side lens group 12a and the

rear side lens group 12b of the afocal lens 12.

The conical axicon 14 comprises a first prism member 14a which has a flat plane directed toward the light source and a concave cone-shaped refraction surface directed toward the mask, and a second prism member 14b which has a flat plane directed toward the mask and a convex cone-shaped refraction surface directed toward the light source, the first prism member 14a and the second prism member 14b being arranged in this order from the side of the light source. The concave cone-shaped refraction surface of the first prism member 14a and the convex cone-shaped refraction surface of the second prism member 14b are formed complementarily so that they are capable of making mutual abutment.

At least one member of the first prism member 14a and the second prism member 14b is constructed to be movable along the optical axis AX. The spacing distance between the concave cone-shaped refraction surface of the first prism member 14a and the convex cone-shaped refraction surface of the second prism member 14b is variable. The spacing distance of the conical axicon 14 is changed by a driving system 28a which is operated on the basis of a command from the control system 21.

In this arrangement, the conical axicon 14 functions as a plane parallel plate in a state in which the concave cone-shaped refraction surface of the first prism member 14a abuts against the convex cone-shaped refraction surface of the second prism

member 14b. No influence is exerted on the quadrupole secondary light source to be formed. However, when the concave cone-shaped refraction surface of the first prism member 14a is separated from the convex cone-shaped refraction surface of the second prism member 14b, the conical axicon 14 functions as a so-called beam expander. Therefore, the angle of the incoming light beam into the predetermined plane 13 is changed in accordance with the change of the spacing distance of the conical axicon 14.

The first V-shaped axicon 15 comprises a first prism member 15a which has a flat plane directed toward the light source and a concave refraction plane having a V-shaped configuration directed toward the mask, and a second prism member 15b which has a flat plane directed toward the mask and a convex refraction plane having a V-shaped configuration directed toward the light source. The concave refraction plane of the first prism member 15a includes two flat surfaces with a line of intersection thereof extending in the Z direction. The convex refraction plane of the second prism member 15b is formed to make mutual abutment against the convex refraction plane of the first prism member 15a. In other words, the convex refraction plane of the second prism member 15b is formed complementarily with the concave refraction plane of the first prism member 15a.

That is, the convex refraction plane of the second prism member 15b also includes two flat surfaces with a line of intersection



thereof extending in the Z direction. At least one of the first prism member 15a and the second prism member 15b is constructed to be movable along the optical axis AX. The spacing distance between the concave refraction plane of the first prism member 15a and the convex refraction plane of the second prism member 15b is variable. The spacing distance of the first V-shaped axicon 15 is changed by a driving system 28b which is operated on the basis of a command from the control system 21.

The second V-shaped axicon 16 comprises a first prism member 16a which has a flat plane directed toward the light source and a concave refraction plane having a V-shaped configuration directed toward the mask, and a second prism member 16b which has a flat plane directed toward the mask and a convex refraction plane having a V-shaped configuration directed toward the light source. The concave refraction plane of the first prism member 16a includes two flat surfaces with a line of intersection thereof extending in the x direction. The convex refraction plane of the second prism member 16b is formed complementarily with the concave refraction plane of the first prism member 16a. That is, the convex refraction plane of the second prism member 16b also includes two flat surfaces with a line of intersection thereof extending in the X direction.

At least one of the first prism member 16a and the second prism member 16b is constructed to be movable along the optical axis AX. The spacing distance between the concave refraction plane

of the first prism member 16a and the convex refraction plane of the second prism member 16b is variable. The spacing distance of the second V-shaped axicon 16 is changed by a driving system 28c which is operated on the basis of a command from the control system 21.

In this arrangement, in a state in which the concave refraction plane and the convex refraction plane, which are opposed to one another, make mutual abutment, each of the first V-shaped axicon 15 and the second V-shaped axicon 16 functions as a plane parallel plate, and no influence is exerted on the quadrupole secondary light source to be formed. However, when the concave refraction plane and the convex refraction plane are separated from each other, then the first V-shaped axicon 15 functions as a plane parallel plate in the Z direction, but it functions as a beam expander in the X direction. When the concave refraction plane and the convex refraction plane are separated from each other, then the second V-shaped axicon 16 functions as a plane parallel plate in the X direction, but it functions as a beam expander in the Z direction.

FIG. 12 illustrates the function of the conical axicon for the secondary light source formed by the quadrupole illumination in the second embodiment. In the quadrupole illumination in the second embodiment, when the spacing distance of the conical axicon 14 is enlarged from zero to a predetermined value, then each of the circular surface light sources 40a to 40d for constructing the quadrupole secondary light source is moved

outwardly in the radial direction of the center formed about the center of the optical axis AX, and the shape is changed from the circular configuration to the elliptic configuration. That is, the line segment, which connects the central point of each of the circular surface light sources 40a to 40d before the change and the central point of each of the elliptic surface light sources 41a to 41d after the change, passes through the optical axis AX, and the distance of movement of the central point depends on the spacing distance of the conical axicon 14.

Further, the angle, at which each of the circular surface light sources 40a to 40d before the change is viewed from the optical axis AX (angle formed by a pair of tangential lines extending from the optical axis AX to the respective surface light sources 40a to 40d) is equal to the angle at which each of the elliptic surface light sources 41a to 41d after the change is viewed from the optical axis AX. The diameter of each of the circular surface light sources 40a to 40d before the change is equal to the short diameter of each of the elliptic surface light sources 41a to 41d after the change in the radial direction of the circle formed about the center of the optical axis AX. The size of the long diameter of each of the elliptic surface light sources 41a to 41d after the change, which is disposed in the circumferential direction of the circle formed about the center of the optical axis AX, depends on the diameter of each of the circular surface light sources 40a to 40d before the change and the spacing distance of the conical

axicon 14.

Therefore, when the spacing distance of the conical axicon 14 is increased from zero to a predetermined value, then the quadrupole secondary light source, which is constructed by the four circular surface light sources, is changed into the quadrupole secondary light source constructed by the four elliptic surface light sources, and thus the outer diameter and the annular ratio can be changed without changing the width of the secondary light source before the change. In this case, the width of the quadrupole secondary light source is defined as  $1/2$  of the difference between the diameter of the circle circumscribing the four surface light sources, i.e., the outer diameter and the diameter of the circle inscribing the four surface light sources, i.e., the inner diameter. The annular ratio of the quadrupole secondary light source is defined as the ratio of the inner diameter to the outer diameter (inner diameter/outer diameter).

FIG. 13 illustrates the function of the zoom lens for the secondary light source formed by the quadrupole illumination in the second embodiment. In the quadrupole illumination in the second embodiment, when the focal length of the zoom lens 7 is changed, the entire shape of the quadrupole secondary light source, which is constructed by the four circular surface light sources 42a to 42d, is similarly changed. That is, the respective circular surface light sources 42a to 42d for constructing the quadrupole secondary light source are moved in

the radial directions of the circle formed about the center of the optical axis AX while maintaining the circular configuration.

The line segment, which connects the central point of each of the surface light sources 42a to 42d before the change and the central point of each of the surface light sources 43a to 43d after the change, passes through the optical axis AX, and the distance of movement and the direction of movement of the central point depend on the change of the focal length of the zoom lens 7. Further, the angle, at which each of the surface light sources 42a to 42d before the change is viewed from the optical axis AX is equal to the angle at which each of the surface light sources 43a to 43d after the change is viewed from the optical axis AX. Accordingly, only the outer diameter of the quadrupole secondary light source can be changed by changing the focal length of the zoom lens 7 without changing the annular ratio of the quadrupole secondary light source.

FIG. 14 illustrates the function of the first V-shaped axicon and the second V-shaped axicon for the secondary light source formed by the quadrupole illumination in the second embodiment. When the spacing distance of the first V-shaped axicon 15 is changed, then the angle of incidence of the incoming light beam into the predetermined plane 13 in the Z direction is not changed, but the angle of incidence of the incoming light beam into the predetermined plane 13 in the X direction is changed. As a result, as shown in FIG. 14A, the four circular surface

light sources 44a to 44d are not moved in the Z direction, but they are moved in the X direction while maintaining the shape and the size thereof. That is, when the spacing distance of the first V-shaped axicon 15 is increased from zero to a predetermined value, then the surface light sources 44b, 44c are moved in the -X direction, and the surface light sources 44a, 44d are moved in the +x direction.

On the other hand, when the spacing distance of the second V-shaped axicon 16 is changed, the angle of incidence of the incoming light beam into the predetermined plane 13 in the X direction is not changed, but the angle of incidence of the incoming light beam into the predetermined plane 13 in the Z direction is changed. As a result, as shown in FIG. 14B, the four circular surface light sources 44a to 44d are not moved in the X direction, but they are moved in the Z direction while maintaining the shape and the size thereof. That is, when the spacing distance of the second V-shaped axicon 16 is increased from zero to a predetermined value, then the surface light sources 44a, 44b are moved in the +Z direction, and the surface light sources 44c, 44d are moved in the -Z direction.

When both of the spacing distance of the first V-shaped axicon 15 and the spacing distance of the second V-shaped axicon 16 are changed, both of the angle of incidence of the incoming light beam into the predetermined plane 13 in the X direction and the angle of incidence of the incoming light beam into the predetermined plane 13 in the z direction are changed. As a

result, as shown in FIG. 14C, the respective four circular surface light sources 44a to 44d are moved in the Z direction and in the X direction while maintaining the shape and the size thereof. That is, when both of the spacing distance of the first V-shaped axicon 15 and the spacing distance of the second V-shaped axicon 16 are increased from zero to the predetermined values, then the surface light source 44a is moved in the +Z direction and in the +X direction, the surface light source 44b is moved in the +Z direction and in the -X direction, the surface light source 44c is moved in the -Z direction and in the -X direction, and the surface light source 44d is moved in the -Z direction and in the +X direction.

As described above, the conical axicon 14 constitutes an annular ratio-varying unit for varying the annular ratio of the illumination light beam on the pupil of the illumination optical system (on the rear side focal plane RF of the micro fly's eye 8a). The zoom lens 7 constitutes a magnification-varying optical system for varying the magnitude of the illumination light beam on the pupil of the illumination optical system. The first V-shaped axicon 15 constitutes a first displacing unit for symmetrically displacing the illumination light beam on the pupil of the illumination optical system with respect to the optical axis in the X direction. The second V-shaped axicon 16 constitutes a second displacing unit for symmetrically displacing the illumination light beam on the pupil of the illumination optical system with respect to the optical axis in the Z direction. The conical

axicon 14, the first V-shaped axicon 15, the second V-shaped axicon 16, and the zoom lens 17 constitute a varying mechanism for varying the magnitude and the shape of the illumination light beam on the pupil of the illumination optical system.

FIG. 15 illustrates the function of the conical axicon, the zoom lens, the first V-shaped axicon, and the second V-shaped axicon for the respective circular surface light sources formed by the quadrupole illumination in the second embodiment. In FIG. 15, the attention is paid to one surface light source 45a of the four circular surface light sources for constructing the smallest quadrupole secondary light source formed in a state (hereinafter referred to as "standard state") in which all of the spacing distances of the conical axicon 14, the first V-shaped axicon 15, and the second V-shaped axicon 16 are zero, and the focal length of the zoom lens 7 is set to the minimum value.

Starting from the standard state, when the spacing distance of the first V-shaped axicon 15 is increased from zero to a predetermined value, then the surface light source 45a is moved in the X direction while maintaining the shape and the size thereof, and it arrives at a position indicated by reference numeral 45b. Subsequently, when the spacing distance of the second V-shaped axicon 16 is increased from zero to a predetermined value, then the surface light source 45b is moved in the Z direction while maintaining the shape and the size thereof, and it arrives at a position indicated by reference



numeral 45c.

When the focal length of the zoom lens 7 is increased from the minimum value to a predetermined value, then the circular surface light source 45c is enlarged while maintaining the circular configuration, it is moved outwardly in the radial direction of the circle formed about the center of the optical axis AX, and it arrives at a position indicated by reference numeral 45d. Further, if necessary, when the spacing distance of the conical axicon 14 is increased from zero to a predetermined value, then the circular surface light source 45d is changed from the circular configuration to an enlarged elliptic configuration, it is moved outwardly in the radial direction of the circle formed about the center of the optical axis AX, and it arrives at a position indicated by reference numeral 45e.

Even when the spacing distance of the first V-shaped axicon 15 is increased from zero to a predetermined value after the spacing distance of the second V-shaped axicon 16 is increased from zero to a predetermined value, the surface light source 45a arrives at the position indicated by reference numeral 45c while maintaining the shape and the size thereof. Similarly, the position, the shape, and the size of the surface light source, which are finally obtained, depend on the change of the spacing distances of the conical axicon 14, the first V-shaped axicon 15, and the second V-shaped axicon 16 and the change of the focal length of the zoom lens 7, and they do not depend on

the order of the changes.

Accordingly, the positions of the respective surface light sources for constructing the quadrupole secondary light source can be moved over the wide range owing to the function of the conical axicon 14, the first V-shaped axicon 15, the second V-shaped axicon 16, and the zoom lens 7. Further, it is possible to change the shape and the size thereof over the predetermined range. However, actually, the movement ratio of each of the surface light sources (i.e., the coordinate position of the surface light source before the movement with respect to the coordinate position of the surface light source after the movement), which is brought about by the conical axicon 14, the first V-shaped axicon 15, and the second V-shaped axicon 16, is restricted due to the optical design. Further, the range of the movement of each of the surface light sources is limited.

Accordingly, in the second embodiment, three types of diffracting optical elements having different characteristics are provided as the diffracting optical element 11a for the quadrupole illumination. FIG. 16 illustrates the respective surface light sources and the movement ranges of the respective surface light sources which are formed by the aid of the three types of the diffracting optical elements for the quadrupole illumination having the different characteristics in the second embodiment. Also in FIG. 16, the attention is paid to one surface light source 46 of the four circular surface light sources for constructing the smallest quadrupole secondary

light source formed in the standard state, in the same manner as in FIG. 15.

In the second embodiment, the first diffracting optical element for the quadrupole illumination is used to form a quadrupole secondary light source in which the quadrangle formed by connecting the central points of four surface light sources is a rectangle which is slender in the X direction, i.e., a quadrupole secondary light source as shown in the right half of FIG. 14A. One surface light source 46a of the four circular surface light sources for constructing the quadrupole secondary light source formed by the first diffracting optical element for the quadrupole illumination is moved within a rectangular range indicated by reference numeral 47a in accordance with the action of the first V-shaped axicon 15 and the second V-shaped axicon 16.

On the other hand, the second diffracting optical element for the quadrupole illumination is used to form a quadrupole secondary light source in which the quadrangle formed by connecting the central points of four surface light sources is a rectangle which is slender in the Z direction, i.e., a quadrupole secondary light source as shown in the right half of FIG. 14B. One surface light source 46b of the four circular surface light sources for constructing the quadrupole secondary light source formed by the second diffracting optical element for the quadrupole illumination is moved within a rectangular range indicated by reference numeral 47b in accordance with the

action of the first V-shaped axicon 15 and the second V-shaped axicon 16.

Further, the third diffracting optical element for the quadrupole illumination is used to form a quadrupole secondary light source in which the quadrangle formed by connecting the central points of four surface light sources is a square, i.e., a quadrupole secondary light source as shown in the right half of FIG. 14C (or in the left halves of FIGS. 14A to 14C). One surface light source 46c of the four circular surface light sources for constructing the quadrupole secondary light source formed by the third diffracting optical element for the quadrupole illumination is moved within a rectangular range indicated by reference numeral 47c in accordance with the action of the first V-shaped axicon 15 and the second V-shaped axicon 16.

Accordingly, in the second embodiment, even when the movement ratio (and consequently the movement range) of each of the surface light sources brought about by the first V-shaped axicon 15 and the second V-shaped axicon 16 is restricted to some extent in view of the optical design, it is possible to freely move the position of each of the surface light sources in the annular area about the center of the optical axis AX by using the three type of the diffracting optical elements for the quadrupole illumination having the different characteristics in combination. Although not shown in FIG. 16, it is also possible to appropriately change the position, the

shape, and the size of each of the surface light sources to be in a desired state in the annular area formed about the center of the optical axis AX owing to the function of the conical axicon 14 and the zoom lens 7.

A first modification of the second embodiment is provided with four types of diffracting optical elements having different characteristics as the diffracting optical element 11a for the quadrupole illumination. FIGS. 17 and 18 illustrate respective surface light sources, the movement thereof, and the deformation thereof, the respective surface light sources being formed by the four types of the diffracting optical elements for the quadrupole illumination having the different characteristics in the first modification of the second embodiment. Also in FIGS. 17 and 18, the attention is paid to one surface light source 48 of the four circular surface light sources for constructing the smallest quadrupole secondary light source formed in the standard state, in the same manner as in FIGS. 15 and 16.

In the first modification of the second embodiment, as shown in FIGS. 17 and 18, the quarter-circular area, which is defined by the circle formed about the center of the optical axis AX, the line segment parallel to the X axis, and the line segment parallel to the Z axis, is divided into four sector areas by the three line segments which pass through the optical axis AX. The centers of the respective circular surface light sources 48a to 48d, which are formed by the four types of the

diffracting optical elements for the quadrupole illumination respectively, are set to be located in the respective sector areas. That is, the setting is made as follows. The surface light source 48a is formed by the first diffracting optical element, the surface light source 48b is formed by the second diffracting optical element, the surface light source 48c is formed by the third diffracting optical element, and the surface light source 48d is formed by the fourth diffracting optical element.

In the following description, in order to simplify the explanation, it is assumed that the quarter-circular area is equally divided into the four sector areas, and the respective surface light sources 48a to 48d are arranged in the circumferential direction of the circle formed about the center of the optical axis AX so that the respective surface light sources 48a to 48d make contact with each other. In this arrangement, when the spacing distance of the conical axicon 14 is increased from zero to a predetermined value, then the respective surface light sources 48a to 48d are changed so that the shape thereof is altered from the circle to the enlarged ellipse as shown in FIG. 17, and their central positions are moved outwardly in the radial direction of the circle formed about the center of the optical axis AX to arrive at positions indicated by reference numerals 49a to 49d respectively.

When the focal length of the zoom lens 7 is increased from the minimum value to a predetermined value, the respective surface

light sources 48a to 48d are enlarged while maintaining the circular configuration as shown in FIG. 18, and their central positions are moved outwardly in the radial direction of the circle formed about the center of the optical axis AX to arrive at positions indicated by reference numerals 50a to 50d respectively. Accordingly, in the first modification of the second embodiment, the position, the shape, and the size of each of the surface light sources can be freely changed in the annular area formed about the center of the optical axis AX by using the four types of the diffracting optical elements for the quadrupole illumination having the different characteristics in combination.

In FIGS. 17 and 18, the respective surface light sources 48a to 48d are arranged so that they make contact with each other. However, it is also possible to arrange the respective surface light sources 48a to 48d so that they are separated from each other by spacing distances. In any case, the position, the shape, and the size of each of the surface light sources can be appropriately changed into those in a desired state in the circular annular area formed about the center of the optical axis AX owing to the function of the conical axicon 14, the first V-shaped axicon 15, the second V-shaped axicon 16, and the zoom lens 7.

Further, a second modification of the second embodiment is provided with two types of diffracting optical elements having different characteristics as the diffracting optical element

11a for the quadrupole illumination. FIG. 19 illustrates the respective surface light sources, the movement thereof, and the deformation thereof, the respective surface light sources being formed by the aid of the two types of the diffracting optical elements for the quadrupole illumination having the different characteristics in the second modification of the second embodiment. Also in FIG. 19, the attention is paid to one surface light source 51 of the four circular surface light sources for constructing the smallest quadrupole secondary light source formed in the standard state, in the same manner as in FIGS. 15 to 18.

In the second modification of the second embodiment, the first diffracting optical element for the quadrupole illumination is used to form the quadrupole secondary light source in which the quadrangle formed by connecting the central points of the four surface light sources is a rectangle which is slender in the X direction. One surface light source 51a (corresponding to 46a in FIG. 16) of the four circular surface light sources for constructing the quadrupole secondary light source formed by the first diffracting optical element for the quadrupole illumination is movable within the rectangular range indicated by reference numeral 52a in accordance with the action of the first V-shaped axicon 15 and the second V-shaped axicon 16.

On the other hand, the second diffracting optical element for the quadrupole illumination is used to form the quadrupole secondary light source in which the quadrangle formed by



connecting the central points of the four surface light sources is a rectangle which is slender in the Z direction. One surface light source 51b (corresponding to 46b in FIG. 16) of the four circular surface light sources for constructing the quadrupole secondary light source formed by the second diffracting optical element for the quadrupole illumination is movable within the rectangular range indicated by reference numeral 52b in accordance with the action of the first V-shaped axicon 15 and the second V-shaped axicon 16.

Further, when the first diffracting optical element for the quadrupole illumination and the second V-shaped axicon 16 are used in combination, or when the second diffracting optical element for the quadrupole illumination and the first V-shaped axicon 15 are used in combination, then the surface light source 51c is formed at an intermediate position between the initial surface light sources 51a, 51b. In this case, when the magnification-varying function of the zoom lens 7 is effected for the surface light source 51c, then the surface light source 51c is enlarged while maintaining the circular configuration thereof, and the central position is moved outwardly in the radial direction of the circle formed about the center of the optical axis AX to arrive at the position indicated by reference numeral 51d.

Although not shown in the drawing, when the conical axicon 14 is allowed to act on the surface light source 51c, then the circular configuration of the surface light source 51c is

changed to an enlarged elliptic configuration, and the central position is moved outwardly in the radial direction of the circle formed about the center of the optical axis AX. Accordingly, in the second modification of the second embodiment, the position of each of the surface light sources can be freely moved in the circular annular area formed about the center of the optical axis AX by using the two types of the diffracting optical elements for the quadrupole illumination having the different characteristics. In general, the position, the shape, and the size of each of the surface light sources can be appropriately changed into those in a desired state in the circular annular area formed about the center of the optical axis AX in accordance with the action of the conical axicon 14, the first V-shaped axicon 15, the second V-shaped axicon 16, and the zoom lens 7.

Next, brief explanation will be made for the annular illumination obtained by setting the diffracting optical element 11b for the annular illumination in the illumination optical path in place of the diffracting optical element 11a for the quadrupole illumination. In this case, the substantially parallel light beam, which comes into the diffracting optical element 11b, forms an annular light intensity distribution on the pupil plane of the afocal lens 12, and then it forms a substantially parallel light beam which outgoes from the afocal lens 12. The light beam, which has passed through the afocal lens 12, is transmitted through the zoom lens 7 to form an annular illumination field formed about

the center of the optical axis AX on the light-incoming surface of the micro fly's eye 8a. As a result, the secondary light source, which has substantially the same light intensity distribution as that of the illumination field formed by the incoming light beam, i.e., the annular secondary light source formed about the center of the optical axis AX is formed on the rear side focal plane of the micro fly's eye 8a.

FIG. 20 illustrates the function of the conical axicon for the secondary light source formed by the annular illumination in the second embodiment. In the annular illumination in the second embodiment, the smallest annular secondary light source 60a, which is formed in the standard state, is changed to the annular secondary light source 60b in which both of the outer diameter and the inner diameter are enlarged without changing the width ( $1/2$  of the difference between the outer diameter and the inner diameter as indicated by arrows in the drawing) by increasing the spacing distance of the conical axicon 14 from zero to a predetermined value. In other words, both of the annular ratio and the size (outer diameter) of the annular secondary light source are changed without changing the width in accordance with the action of the conical axicon 14.

FIG. 21 illustrates the function of the zoom lens for the secondary light source formed in the annular illumination in the second embodiment. In the annular illumination in the second embodiment, the annular secondary light source 60a, which is formed in the standard state, is changed to the

annular secondary light source 60c in which the entire shape is similarly enlarged, by increasing the focal length of the zoom lens 7 from the minimum value to a predetermined value. In other words, both of the width and the size (outer diameter) of the annular secondary light source are changed without changing the annular ratio in accordance with the action of the zoom lens 7.

FIG. 22 illustrates the function of the first V-shaped axicon and the second V-shaped axicon for the secondary light source formed in the annular illumination in the second embodiment. As described above, when the spacing distance of the first V-shaped axicon 15 is changed, then the angle of incidence of the incoming light beam into the predetermined plane 13 in the Z direction is not changed, but the angle of incidence of the incoming light beam into the predetermined plane 13 in the X direction is changed. As a result, as shown in FIG. 22A, the respective four quarter-circular surface light sources 61 to 64, which constitute the annular secondary light source 60a, are not moved in the Z direction, but they are moved in the X direction. That is, when the spacing distance of the first V-shaped axicon 15 is increased from zero to a predetermined value, then the surface light sources 61, 63 are moved in the -X direction, and the surface light sources 62, 64 are moved in the +X direction.

On the other hand, when the spacing distance of the second V-shaped axicon 16 is changed, then the angle of incidence of the

incoming-light beam into the predetermined plane 13 in the X direction is not changed, but the angle of incidence of the incoming-light beam into the predetermined plane 13 in the Z direction is changed. As a result, as shown in FIG. 22B, the respective surface light sources 61 to 64 are not moved in the X direction, but they are moved in the Z direction. That is, when the spacing distance of the second V-shaped axicon 16 is increased from zero to a predetermined value, then the surface light sources 61, 62 are moved in the +Z direction, and the surface light sources 63, 64 are moved in the -Z direction.

Further, when both of the spacing distance of the first V-shaped axicon 15 and the spacing distance of the second V-shaped axicon 16 are changed, both of the angle of incidence of the incoming-light beam into the predetermined plane 13 in the X direction and the angle of incidence in the Z direction are changed. As a result, as shown in FIG. 22C, the respective surface light sources 61 to 64 are moved in the Z direction and the X direction. That is, when the spacing distance of the first V-shaped axicon 15 and the spacing distance of the second V-shaped axicon 16 are increased from zero to predetermined values, then the surface light source 61 is moved in the +Z direction and the -X direction, the surface light source 62 is moved in the +Z direction and the +X direction, the surface light source 63 is moved in the -Z direction and the -X direction, and the surface light source 64 is moved in the -Z direction and the +X direction. Accordingly, it is possible to form the quadrupole secondary light source composed of the four

independent surface light sources each having the circular arc-shaped configuration.

In the foregoing description, the function of each of the conical axicon 14, the first V-shaped axicon 15, the second V-shaped axicon 16, and the zoom lens 7 has been individually explained in the annular illumination in the second embodiment. However, it is possible to effect the annular illumination in a variety of forms in accordance with the interaction of these optical members. Specifically, when the zoom lens 7 is allowed to act in the state shown in FIG. 22C, for example, then the surface light source 62 is moved in the radial direction of the circle formed about the center of the optical axis AX, and it is changed into the surface light source 62 in which the entire shape is similarly changed. On the other hand, when the conical axicon 14 is allowed to act in the state shown in FIG. 22C, for example, then the surface light source 64 is moved in the radial direction of the circle formed about the center of the optical axis AX, and it is changed into the surface light source 64a in which only the size in the circumferential direction is changed without changing the size in the radial direction.

However, actually, due to the restriction of the optical design, there is a certain limit for the range of the change of the annular ratio effected by the conical axicon 14. Accordingly, the second embodiment is provided with the two types of the diffracting optical elements having the different

characteristics as the diffracting optical element 11b for the annular illumination. That is, in the second embodiment, the first diffracting optical element for the annular illumination is used to form the annular secondary light source having the shape which is appropriate to change the annular ratio, for example, within a range of 0.5 to 0.68. On the other hand, the second diffracting optical element for the annular illumination is used to form the annular secondary light source having the shape which is appropriate to change the annular ratio, for example, within a range of 0.68 to 0.8. As a result, when the two types of the diffracting optical elements for the annular illumination are used in combination, it is possible to change the annular ratio within a range of 0.5 to 0.8.

With reference to FIG. 23A, it is understood that the curvature of the circle (indicated by a broken line in the drawing), which circumscribes the two-spot secondary light source obtained in the right half of FIG. 22A or FIG. 22B, is not coincident with the curvature of the outer circular arc of each of the surface light sources having the semicircular arc-shaped configuration. Accordingly, in a third modification of the second embodiment, in order to allow the curvature of the circle circumscribing the two-spot secondary light source obtained by the action of the first V-shaped axicon 15 or the second V-shaped axicon 16 to coincide with the curvature of the outer circular arc of each of the surface light sources having the semicircular arc-shaped configuration, a third diffracting optical element for the annular illumination is additionally

provided. As shown in FIG. 23B, the third diffracting optical element for the annular illumination forms an elliptic annular secondary light source which is slightly flat in the X direction or the Z direction, without forming a completely annular secondary light source as defined by two circles formed about the center of the optical axis AX.

In particular, the elliptic annular secondary light source, which is formed by the third diffracting optical element for the annular illumination, is constructed by a pair of circular arc-shaped surface light sources 65a, 65b. The curvature of the outer circular arc of each of the surface light sources 65a, 65b is set to coincide with the curvature of the circle which circumscribes the two-spot secondary light source obtained by the action of the first V-shaped axicon 15 or the second V-shaped axicon 16. Therefore, in the third modification of the second embodiment, the curvature of the circle, which circumscribes the two-spot secondary light source, is coincident with the curvature of the outer circular arc of each of the circular arc-shaped surface light sources 65a, 65b in the two-spot secondary light source obtained by the action of the first V-shaped axicon 15 or the second V-shaped axicon 16.

Further, brief explanation will be made for the conventional circular illumination obtained by setting the diffracting optical element 11c for the circular illumination in the illumination optical path in place of the diffracting optical element 11a for the quadrupole illumination or the diffracting



optical element 11b for the annular illumination. In this case, the substantially parallel light beam, which comes into the diffracting optical element 11c, forms the circular light intensity distribution on the pupil plane of the afocal lens 12, and then it forms the substantially parallel light beam outgoing from the afocal lens 12.

The light beam, which has passed through the afocal lens 12, forms a circular illumination field formed about the center of the optical axis AX on the light-incoming surface of the micro fly's eye 8a by the aid of the zoom lens 7. As a result, the secondary light source, which has approximately the same light intensity distribution as that of the illumination field formed by the incoming light beam, i.e., the circular secondary light source formed about the center of the optical axis AX, is formed on the rear side focal plane of the micro fly's eye 8a (i.e., on the pupil of the illumination optical system).

In the circular illumination in the second embodiment, the smallest circular secondary light source formed in the standard state is changed into the circular secondary light source in which the entire shape is similarly enlarged by increasing the focal length of the zoom lens 7 from the minimum value to a predetermined value. In other words, in the circular illumination in the second embodiment, the size (outer diameter) of the circular secondary light source can be changed by changing the focal length of the zoom lens 7.

FIG. 24 illustrates the function of the first V-shaped axicon and the second V-shaped axicon for the secondary light source formed in the circular illumination in the second embodiment. In the circular illumination in the second embodiment, when the spacing distance of the first V-shaped axicon 15 is increased from zero to a predetermined value, then the surface light sources 66a, 66c, which are included in the four quarter-circular surface light sources 66a to 66d for constructing the circular secondary light source, are moved in the -X direction, and the surface light sources 66b, 66d are moved in the +X direction as shown in FIG. 24A.

On the other hand, when the spacing distance of the second V-shaped axicon 16 is increased from zero to a predetermined value, then the surface light sources 66a, 66b are moved in the +Z direction, and the surface light sources 66c, 66d are moved in the -Z direction as shown in FIG. 24B. Further, when both of the spacing distance of the first V-shaped axicon 15 and the spacing distance of the second V-shaped axicon 16 are increased from zero to predetermined values, the surface light source 66a is moved in the +Z direction and the -X direction, the surface light source 66b is moved in the +Z direction and the +X direction, the surface light source 66c is moved in the -Z direction and the -X direction, and the surface light source 66d is moved in the -Z direction and the +X direction as shown in FIG. 24C. Accordingly, it is possible to form the quadrupole secondary light source composed of the four independent quarter-circular surface light sources.

In the foregoing description, the function has been individually explained for each of the first V-shaped axicon 15, the second V-shaped axicon 16, and the zoom lens 7 in the circular illumination in the second embodiment. The circular illumination can be effected in a variety of forms in accordance with the interaction of these optical members. However, actually, the magnification-varying range of the outer diameter, which is effected by the zoom lens 7, is limited due to the restriction in view of the optical design. Accordingly, the second embodiment is provided with the two types of the diffracting optical elements having the different characteristics as the diffracting optical element 11c for the circular illumination.

That is, in the second embodiment, the first diffracting optical element for the circular illumination is used to form the circular secondary light source having the shape which is appropriate to change the  $\sigma$  value within a range from a relatively small  $\sigma$  value, i.e., small  $\sigma$  to an intermediate  $\sigma$  value, i.e., middle  $\sigma$ . Further, the second diffracting optical element for the circular illumination is used to form the circular secondary light source having the shape which is appropriate to change the  $\sigma$  value within a range from the middle  $\sigma$  to a relatively large  $\sigma$  value, i.e., large  $\sigma$ . As a result, when the two types of the diffracting optical elements for the circular illumination are used in combination, it is possible to change the  $\sigma$  value within a range from the small  $\sigma$

to the large  $\sigma$  (for example,  $0.1 \leq \sigma \leq 0.95$  ).

The operation for switching the illumination condition in the second embodiment and other operations will be specifically explained below. At first, for example, the information, which concerns a variety of masks to be successively exposed in accordance with the step-and-repeat system or the step-and-scan system, is inputted into the control system 21 by the aid of an input unit 20 such as a keyboard. The control system 21 stores, in an internal memory section, the information concerning, for example, the optimum line width (resolution) and the depth of focus in relation to the various masks. The control system 21 supplies appropriate control signals to the driving systems 24, 26 to 28 in response to the input from the input unit 20.

That is, when the quadrupole illumination is performed with the optimum resolution and the optimum depth of focus, the driving system 26 positions the diffracting optical element 11a for the quadrupole illumination in the illumination optical path on the basis of the command from the control system 21. In order to obtain the quadrupole secondary light source having a desired form, the driving systems 28a to 28c set the spacing distances of the axicons 14 to 16 on the basis of the commands from the control system 21. The driving system 24 sets the focal length of the zoom lens 7 on the basis of the command from the control system 21. Further, the driving system 27 drives the variable aperture diaphragm of the projection optical system PL on the basis of the command from the control system 21.

Further, if necessary, the form of the quadrupole secondary light source formed on the rear side focal plane of the micro fly's eye 8a can be appropriately changed by changing the spacing distances of the axicons 14 to 16 by the aid of the driving systems 28a to 28c and/or by changing the focal length of the zoom lens 7 by the aid of the driving system 24. Accordingly, it is possible to perform the quadrupole illumination in various ways by appropriately changing, for example, the entire size (outer diameter) and the shape (annular ratio) of the quadrupole secondary light source as well as the position, the shape, and the size of each of the surface light sources.

When the annular illumination is performed with the optimum resolution and the optimum depth of focus, the driving system 26 positions the diffracting optical element 11b for the annular illumination in the illumination optical path on the basis of the command from the control system 21. In order to obtain the annular secondary light source having a desired form, or in order to obtain the quadrupole secondary light source or the two-spot secondary light source derivatively obtained from the annular secondary light source, the driving systems 28a to 28c set the spacing distances of the axicons 14 to 16 on the basis of the commands from the control system 21. The driving system 24 sets the focal length of the zoom lens 7 on the basis of the command from the control system 21. Further, the driving system 27 drives the variable aperture

diaphragm of the projection optical system PL on the basis of the command from the control system 21.

Further, if necessary, the form of the annular secondary light source formed on the rear side focal plane of the micro fly's eye 8a or the form of the quadrupole secondary light source or the two-spot secondary light source derivatively obtained can be appropriately changed by changing the spacing distances of the axicons 14 to 16 by the aid of the driving systems 28a to 28c and/or by changing the focal length of the zoom lens 7 by the aid of the driving system 24. Accordingly, it is possible to perform the annular illumination in various ways by appropriately changing, for example, the entire size (outer diameter) and the shape (annular ratio) of the annular secondary light source as well as the position, the shape, and the size of each of the surface light sources derivatively obtained.

When the conventional circular illumination is performed with the optimum resolution and the optimum depth of focus, the driving system 26 positions the diffracting optical element 11c for the circular illumination in the illumination optical path on the basis of the command from the control system 21. In order to obtain the circular secondary light source having a desired form, or in order to obtain the quadrupole secondary light source or the two-spot secondary light source derivatively obtained from the circular secondary light source, the driving systems 28a to 28c set the spacing distances of the

axicons 14 to 16 on the basis of the commands from the control system 21. The driving system 24 sets the focal length of the zoom lens 7 on the basis of the command from the control system 21. Further, the driving system 27 drives the variable aperture diaphragm of the projection optical system PL on the basis of the command from the control system 21.

Further, if necessary, the form of the circular secondary light source formed on the rear side focal plane of the micro fly's eye 8a or the form of the quadrupole secondary light source or the two-spot secondary light source derivatively obtained can be appropriately changed by changing the spacing distances of the axicons 14 to 16 by the aid of the driving systems 28a to 28c and/or by changing the focal length of the zoom lens 7 by the aid of the driving system 24. Accordingly, it is possible to perform the circular illumination in various ways by appropriately changing, for example, the entire size (consequently the  $\sigma$  value) of the circular secondary light source as well as the position, the shape, and the size of each of the surface light sources derivatively obtained.

In the second embodiment, the conical axicon 14, the first V-shaped axicon 15, and the second V-shaped axicon 16 are arranged in this order from the side of the light source. However, the order of arrangement may be appropriately changed. As for each of the axicons 14 to 16, the first prism member having the concave refraction plane and the second prism member having the convex refraction plane are arranged in this order

from the side of the light source. However, the order of arrangement may be inverted.

In the second embodiment, each of the axicons 14 to 16 is constructed by the pair of prism members. However, there is no limitation thereto. For example, the second prism member 14b of the conical axicon 14 and the first prism member 15a of the first V-shaped axicon 15 may be integrated into one unit, and/or the second prism member 15b of the first V-shaped axicon 15 and the first prism member 16a of the second V-shaped axicon 16 may be integrated into one unit. In this arrangement, the spacing distance of each of the axicons 14 to 16 can be changed independently from each other by moving, along the optical axis AX, at least three members of the first prism member 14a of the conical axicon 14, the integrated two prisms, and the second prism member 16b of the second V-shaped axicon 16.

(Third Embodiment)

FIG. 25 schematically shows an arrangement of an exposure apparatus provided with an illumination optical apparatus according to a third embodiment of the present invention. FIG. 26 shows a perspective view schematically illustrating an arrangement of a pair of V-shaped axicons arranged in an optical path of an afocal lens in the third embodiment. The third embodiment is constructed similarly to the second embodiment. However, in the second embodiment, the conical axicon and the pair of V-shaped axicons are arranged in the



optical path of the afocal lens 12. On the contrary, the third embodiment is basically different from the second embodiment in that only the pair of V-shaped axicons are arranged. The third embodiment will be explained below while paying the attention to the difference from the second embodiment.

In the quadrupole illumination in the third embodiment, the conical axicon is not arranged. Therefore, the circular configuration of each of the surface light sources for constructing the quadrupole secondary light source cannot be changed into the elliptic configuration. However, the position of each of the surface light sources can be appropriately changed in a circular annular area formed about the center of the optical axis AX by selectively using a plurality of diffracting optical elements 11a for the quadrupole illumination and utilizing the function of the first V-shaped axicon 15 and the second V-shaped axicon 16. Further, the position and the size of each of the surface light sources can be appropriately changed in a circular annular area formed about the center of the optical axis AX by utilizing the magnification-varying function of the zoom lens 7 in an auxiliary manner.

On the other hand, in the annular illumination in the third embodiment, the annular ratio of the annular secondary light source cannot be changed continuously, because no conical axicon is arranged. However, it is possible to appropriately change the entire size and the shape (annular ratio) of the

annular secondary light source or the position, the shape, and the size of each of the surface light sources for constructing the two-spot secondary light source or the quadrupole secondary light source derivatively obtained from the annular secondary light source, by selectively using a plurality of diffracting optical elements 11b for the annular illumination and utilizing the function of the first V-shaped axicon 15, the second V-shaped axicon 16, and the zoom lens 7.

In the circular illumination, the function of the conical axicon is not used progressively. Therefore, also in the circular illumination in the third embodiment, it is possible to appropriately change the entire size of the circular secondary light source, or the position, the shape, and the size of each of the surface light sources for constructing the two-spot secondary light source or the quadrupole secondary light source derivatively obtained from the circular secondary light source, in the same manner as in the second embodiment.

#### (Fourth Embodiment)

FIG. 27 schematically shows an arrangement of an exposure apparatus provided with an illumination optical apparatus according to a fourth embodiment of the present invention. FIG. 28 shows a perspective view schematically illustrating a conical axicon and a first V-shaped axicon arranged in an optical path of an afocal lens in the fourth embodiment. The fourth embodiment is constructed similarly to the second

embodiment. However, in the second embodiment, the conical axicon and the pair of V-shaped axicons are arranged in the optical path of the afocal lens 12. On the contrary, the fourth embodiment is basically different from the second embodiment in that only the conical axicon and the first V-shaped axicon are arranged. The fourth embodiment will be explained below while paying the attention to the difference from the second embodiment. In FIGS. 27 and 28, the first V-shaped axicon 15 is shown as one V-shaped axicon. However, one V-shaped axicon may be the second V-shaped axicon 16.

In the quadrupole illumination in the fourth embodiment, only one V-shaped axicon (15 or 16) is arranged. Therefore, it is impossible to two-dimensionally change only the position while maintaining the shape and the size of each of the circular surface light sources for constructing the quadrupole secondary light source. However, the position, the shape, and the size of each of the surface light sources can be appropriately changed in a circular annular area formed about the center of the optical axis AX by selectively using a plurality of diffracting optical elements 11a for the quadrupole illumination and utilizing the function of the conical axicon 14, the one V-shaped axicon (15 or 16), and the zoom lens 7.

On the other hand, in the annular illumination in the fourth embodiment, it is impossible to obtain the quadrupole secondary light source derivatively from the annular secondary light source, because only the one V-shaped axicon (15 or 16) is

arranged. However, it is possible to appropriately change the entire size and the shape (annular ratio) of the annular secondary light source or the position, the shape, and the size of each of the surface light sources for constructing the two-spot secondary light source derivatively obtained from the annular secondary light source, by selectively using a plurality of diffracting optical elements 11b for the annular illumination and utilizing the function of the conical axicon 14, the one V-shaped axicon (15 or 16), and the zoom lens 7.

Further, in the circular illumination in the fourth embodiment, it is impossible to obtain the quadrupole secondary light source derivatively from the circular secondary light source, because only one V-shaped axicon (15 or 16) is arranged. However, it is possible to appropriately change the entire size of the circular secondary light source, or the position, the shape, and the size of each of the surface light sources for constructing the two-spot secondary light source derivatively obtained from the circular secondary light source, by selectively using the plurality of diffracting optical elements 11c for the circular illumination and utilizing the function of the conical axicon 14, the one V-shaped axicon (15 or 16), and the zoom lens 7.

(Fifth Embodiment)

FIG. 29 schematically shows an arrangement of an exposure apparatus provided with an illumination optical apparatus

according to a fifth embodiment of the present invention. The fifth embodiment is constructed similarly to the second embodiment. However, the fifth embodiment is basically different from the second embodiment in that an internal reflection type optical integrator (rod type integrator 70) is used in place of the wave front dividing type optical integrator (micro fly's eye 8a). The fifth embodiment will be explained below while paying the attention to the difference from the second embodiment.

In the fifth embodiment, a zoom lens 71, a second diffracting optical element (or a micro fly's eye) 72, and an input lens 73 are arranged in this order from the side of the light source in the optical path between the diffracting optical element 11 and the rod type integrator 70 corresponding to the fact that the rod type integrator 70 is arranged in place of the micro fly's eye 8a. Further, a mask blind 17, which serves as the illumination field stop, is arranged in the vicinity of the light-outgoing plane of the rod type integrator 70.

In this case, the zoom lens 71 is arranged so that the front side focus position is substantially coincident with the position of the diffracting optical element 11, and the rear side focus position is substantially coincident with the position of the second diffracting optical element 72. The focal length of the zoom lens 71 is changed by the aid of a driving system 29 which is operated on the basis of a command from a control system 21. The input lens 73 is arranged so that

the front side focus position is substantially coincident with the position of the second diffracting optical element 72, and the rear side focus position is substantially coincident with the position of the light-incoming surface of the rod type integrator 70.

The rod type integrator 70 is a glass rod of the internal reflection type composed of a glass material such as silica glass or fluorite. The rod type integrator 70 forms light source images of a number corresponding to a number of times of internal reflection along the plane which passes through the light-collecting point and which is parallel to the rod light-incoming surface, by utilizing the total reflection at the boundary plane between the inside and the outside, i.e., at the internal surface. In this case, almost all of the formed light source images are virtual images. However, only the light source image at the center (light-collecting point) is a real image. That is, the light beam, which comes into the rod type integrator 70, is divided in the angular direction by means of the internal reflection to form the secondary light source composed of a large number of light source images along the plane which passes through the light-collecting point and which is parallel to the light-incoming surface.

Therefore, in the quadrupole illumination (annular illumination or circular illumination) in the fifth embodiment, the light beam, which has passed through the diffracting optical element 11a (11b or 11c) selectively installed in the illumination

optical path, forms the four-spot (annular or circular) illumination field on the second diffracting optical element 72 via the zoom lens 71. The light beam, which has passed through the second diffracting optical element 72, is collected in the vicinity of the light-incoming surface of the rod type integrator 70 via the input lens 73. FIG. 30 illustrates the function of the second diffracting optical element in the fifth embodiment.

As shown in FIG. 30A, if the second diffracting optical element 72 is not arranged, the light beam, which has passed through the zoom lens 71 and the input lens 73, is collected at substantially one point on the light-incoming surface 70a of the rod type integrator 70. As a result, the large number of light sources, which are formed by the rod type integrator 70 on the light-outgoing side, are extremely dissipated (the filling ratio of each light source with respect to the entire secondary light source is small). It is impossible to obtain any substantial surface light source.

Accordingly, in the fifth embodiment, the second diffracting optical element 72, which serves as a light beam-diverging element, is arranged in the vicinity of the front side focus position of the input lens 73. Accordingly, as shown in FIG. 30B, the light beam, which is diverged by the aid of the second diffracting optical element 72, is collected with a predetermined spread on the light-incoming surface 70a of the rod type integrator 70 via the input lens 73. As a result, the

large number of light sources, which are formed on the light-incoming side by the rod type integrator 70, are extremely dense and solid (the filling ratio of each light source with respect to the entire secondary light source is large). It is possible to obtain the secondary light source as the substantial surface light source.

The light beams, which come from the four-spot (annular or circular) secondary light sources formed on the light-incoming side by the rod type integrator 70, are superimposed on the light-outgoing plane to subsequently illuminate the mask M formed with a predetermined pattern, via the mask blind 17 and the image-forming optical system 18. In the fifth embodiment, the conical axicon 14, the first V-shaped axicon 15, and the second V-shaped axicon 16 are arranged in this order from the side of the light source in the optical path between the front side lens group 71a and the rear side lens group 71b of the zoom lens 71.

Therefore, also in the quadrupole illumination in the fifth embodiment, the position, the shape, and the size of each of the surface light sources for constructing the annular secondary light source can be appropriately changed in a circular annular area formed about the center of the optical axis AX, by selectively using the plurality of diffracting optical elements 11a for the quadrupole illumination and utilizing the function of the conical axicon 14, the first V-shaped axicon 15, the second V-shaped axicon 16, and the zoom



lens 71, in the same manner as in the second embodiment.

Also in the annular illumination in the fifth embodiment, it is possible to appropriately change the entire size and the shape (annular ratio) of the annular secondary light source or the position, the shape, and the size of each of the surface light sources for constructing the two-spot secondary light source or the quadrupole secondary light source derivatively obtained from the annular secondary light source, by selectively using the plurality of diffracting optical elements 11b for the annular illumination and utilizing the function of the conical axicon 14, the first V-shaped axicon 15, the second V-shaped axicon 16, and the zoom lens 7, in the same manner as in the second embodiment.

Also in the circular illumination in the fifth embodiment, it is possible to appropriately change the entire size of the circular secondary light source, or the position, the shape, and the size of each of the surface light sources for constructing the two-spot secondary light source or the quadrupole secondary light source derivatively obtained from the circular secondary light source, by selectively using the plurality of diffracting optical elements 11c for the circular illumination and utilizing the function of the conical axicon 14, the first V-shaped axicon 15, the second V-shaped axicon 16, and the zoom lens 7, in the same manner as in the second embodiment.

As described above, also in the second to fifth embodiments, the entire size and the shape of the secondary light source are changed in the X direction or the Z direction by changing the spacing distance of the V-shaped axicon 15 or 16. As a result, it is possible to realize the mutually different illumination conditions in the orthogonal two directions (X direction and Y direction) on the mask M. Consequently, it is possible to set the optimum illumination condition in the orthogonal two directions on the mask M in which the pattern has orientation.

Among the second to fifth embodiments described above, the third embodiment, which is provided with only the pair of V-shaped axicons 15, 16 as the varying mechanism, is used especially preferably for the lithography step for the memory (for example, DRAM). The fourth embodiment, which is provided with only the conical axicon 14 and one V-shaped axicon (15 or 16) as the varying mechanism, is used especially preferably for the lithography step for the logic device (for example, MPU). The second embodiment and the fifth embodiment, each of which is provided with the conical axicon 14 and the pair of V-shaped axicons 15, 16, are used preferably for the lithography step for the general microdevice including the semiconductor device.

In the fifth embodiment described above (see FIG. 29), the example has been explained, in which the optical integrator arranged on the mask side of the axicon system (14, 15, 16) is the internal reflection type optical integrator (rod type optical integrator) 70. However, it is needless to say that the

fly's eye lens 8 or the micro fly's eye 8a as the optical integrator described above can be also replaced with the internal reflection type optical integrator (rod type optical integrator) 70.

In the second embodiment, the third embodiment, and the fifth embodiment described above (see FIGS. 10, 25, and 29), the example has been illustrated, in which the direction of the V-groove of the first V-shaped axicon 15 is in the Z direction ( $0^\circ$  direction), and the direction of the V-groove of the second V-shaped axicon 16 is the X direction ( $90^\circ$  direction). However, the present invention is not limited to this arrangement. For example, the direction of the V-groove of the first V-shaped axicon 15 may be a direction ( $45^\circ$  direction) obtained by making clockwise rotation by  $450^\circ$  about the center of the optical axis, and the direction of the V-groove of the second V-shaped axicon 16 may be a direction ( $135^\circ$  direction) obtained by making clockwise rotation by  $45^\circ$  about the center of the optical axis. Accordingly, the shadow of the groove incoming into the micro fly's eye 8a is inclined, and it is possible to expect such an effect that the uneven illuminance can be reduced. Further, the angle (angle of intersection), which is formed by the direction of the V-groove of the first V-shaped axicon 15 and the direction of the V-groove of the second V-shaped axicon 16, can be arbitrarily changed depending on a desired illumination condition. In order to change the angle of intersection between the grooves of the two V-shaped axicons as described above, the control system 21 may drive at least one

of the driving system 28b and the driving system 28c on the basis of the input information inputted by the aid of the input unit 20 to relatively rotate the first V-shaped axicon 15 and the second V-shaped axicon 16 about the center of the optical axis.

The fourth embodiment (see FIG. 27) described above is illustrative of the case in which the direction of the V-groove of the V-shaped axicon 15 is the Z direction ( $0^\circ$  orientation). However, the present invention is not limited to this arrangement. For example, the direction of the V-groove of the V-shaped axicon 15 may be, for example, the direction obtained by making rotation about  $45^\circ$  ( $45^\circ$  orientation) about the center of the optical axis, the direction obtained by making rotation about  $90^\circ$  ( $90^\circ$  orientation), and the direction obtained by making rotation about  $135^\circ$  ( $135^\circ$  orientation). That is, the direction of the V-groove of the V-shaped axicon 15 can be arbitrarily changed depending on a desired illumination condition. As described above, in order to change the direction of the groove of the V-shaped axicon, the control system 21 may drive the driving system 28b on the basis of the input information inputted by the input unit 20 to rotate the V-shaped axicon 15 by a predetermined amount of rotation about the center of the optical axis.

In the respective embodiments described above, it is preferable that the variable range of the  $\sigma$  value is from 0.1 to 0.95 ( $0.1 \leq \sigma \leq 0.95$ ) by using the diffracting optical element (11a, 11b,

11c) and the zoom lens 7 (magnification-varying optical system) for varying the  $\sigma$  value in combination. However, continuous variation may be made for the range of the  $\sigma$  value of 0.1 to 0.95 required for the apparatus provided that the restriction is abolished, for example, for the number of lenses for constructing the zoom lens 7 (magnification-varying optical system) for varying the  $a$  value and the space therefor.

In the annular illumination in the first to fifth embodiments described above, it is desirable for the annular light beam formed on the pupil of the illumination optical system (pupil of the projection optical system) that the annular ratio is varied within a range of the  $\sigma$  value of 0.4 to 0.95 ( $0.4 \leq \sigma \leq 0.95$ ). Further, in the multiple-spot illumination represented by the two-spot illumination and the quadrupole illumination in the first to fifth embodiments described above, it is desirable for the multiple-spot light beam formed on the pupil of the illumination optical system (pupil of the projection optical system) that the position and the size are variable within a range of the  $\sigma$  value of 0.4 to 0.95 ( $0.4 \leq \sigma \leq 0.95$ ).

Further, in the first to fifth embodiments described above, in order to measure the aberration which remains in the projection optical system PL or the aberration (for example, the wave front aberration) which is changed in a time-dependent manner, for example, a mask for measuring the aberration (reticle for measuring the aberration), which is disclosed, for example, in U.S. Pat. No. 5,828,455 or U.S. Pat. No. 5,978,085, is placed

on an unillustrated mask stage MS for holding the mask (reticle) M, and the mask for measuring the aberration is appropriately illuminated. The content of U.S. Pat. No. 5,828,455 and U.S. Pat. No. 5,978,085 is incorporated herein by reference. Thus, the aberration of the projection optical system PL (for example, the wave front aberration) can be measured highly accurately. As a result of the progressive studies from various viewpoints on the illumination condition under which the aberration of the projection optical system PL (for example, the wave front aberration) can be measured highly accurately, it has been revealed that the  $\sigma$  value of the illumination optical system is preferably set to be any one included in a range of  $0.01 \leq \sigma \leq 0.3$ . In order to measure the aberration of the projection optical system PL (for example, the wave front aberration) further highly accurately, the  $\sigma$  value of the illumination optical system is more preferably set to be any one included in a range of  $0.02 \leq \sigma \leq 0.2$ . In order to set the illumination condition so that the  $\sigma$  value of the illumination optical system is in the range of  $0.01 \leq \sigma \leq 0.3$  or the range of  $0.02 \leq \sigma \leq 0.2$ , a diffracting optical element for the measurement for setting the locally minimum  $\sigma$  value may be set in place of the diffracting optical element (11a, 11b, 11c) for constructing the part of the illumination condition-setting mechanism (4a, 4b, 5, 7, 10, 11a to 11c, 12, 14 to 16, 71, 71a) in the respective embodiments described above. If any aberration occurs in the projection optical system PL in any one of the first to fifth embodiments described above, the deterioration of the optical characteristic represented by the

aberration of the projection optical system PL can be corrected by inputting the measured aberration information into the input unit 20, and allowing the control system 21 to move (move in the optical axis direction of the projection optical system PL, move in the direction perpendicular to the optical axis, incline with respect to the optical axis, and/or rotate about the optical axis) at least one optical element (for example, the lens or the mirror) for constructing the projection optical system PL, for example, by the aid of the unillustrated driving system on the basis of the aberration information inputted by the input unit 20.

The apparatus illustrated in any one of the first to fifth embodiment described above may be a scanning type exposure apparatus. In this case, the illumination optical system forms a slit-shaped (oblong configuration having a length of the transverse direction and a length of the longitudinal direction) illumination area (illumination area having a length in the scanning direction or the direction of the plane of paper in FIGS. 1, 10, 25, 27, and 29) on the mask M. A slit-shaped exposure area is formed on the wafer W. An image of the pattern on the mask M is formed on the wafer W via the projection optical system PL by moving the mask held on an unillustrated mask stage MS and the wafer (substrate) held on an unillustrated wafer stage (substrate stage) WS in opposite directions along with the scanning direction (direction of the plane of paper in FIGS. 1, 10, 25, 27, and 29). In this case, the unillustrated mask stage MS and the unillustrated wafer

stage (substrate stage) WS are controlled by the control system 21 by the aid of the driving apparatus for driving each of the unillustrated stages.

In the apparatus illustrated in each of the embodiments described above, it is preferable that the cross-sectional configuration of each of the large number of optical elements (lens elements) for constructing the micro fly's eye (microarray-shaped optical element) 8a and the fly's eye lens (array-shaped optical element) 8 as the optical integrator is similar to the slit-shaped (oblong configuration having a length of the transverse direction and a length of the longitudinal direction) illumination area formed on the mask M and the slit-shaped (oblong configuration having a length of the transverse direction and a length of the longitudinal direction) exposure area formed on the wafer W.

As illustrated in the respective embodiments described above, in the case of the scanning type exposure apparatus in which the micro fly's eye (microarray-shaped optical element) 8a and/or the fly's eye lens (array-shaped optical element) 8 as the optical integrator is replaced with the internal reflection type optical integrator (rod-type optical integrator), and in the case of the scanning type exposure apparatus in which the optical integrator is the internal reflection type optical integrator (rod-type optical integrator) as in the fifth embodiment, it is preferable that the cross-sectional configuration of the internal reflection type optical



integrator (rod-type optical integrator) is similar to the slit-shaped (oblong configuration having a length of the transverse direction and a length of the longitudinal direction) illumination area formed on the mask M and the slit-shaped (oblong configuration having a length of the transverse direction and a length of the longitudinal direction) exposure area formed on the wafer W.

When the apparatus illustrated in each of the embodiments described above is the scanning type exposure apparatus, in order to achieve the scanning exposure at a high throughput while efficiently maintaining the wide field without bring about any large size and any complexity of the projection optical system PL, it is preferable to satisfy a relationship of  $0.05 < L_s/L_l < 0.7$  provided that  $L_s$  represents the length in the transverse direction of the slit-shaped illumination area formed on the mask M (or the slit-shaped exposure area formed on the wafer W), and  $L_l$  represents the length in the longitudinal direction of the illumination area. In the scanning type exposure apparatus illustrated in each of the embodiments described above, for example,  $L_s/L_l = 1/3$  is given.

When the exposure apparatus according to each of the embodiments described above is used, it is possible to produce microdevices (for example, semiconductor elements, image pickup elements, liquid crystal display elements, and thin film magnetic heads) by illuminating the mask (reticle) with the illumination optical apparatus (illuminating step), and

exposing a photosensitive substrate with a transfer pattern formed on the mask with the projection optical system (exposing step). Explanation will be made below with reference to a flow chart shown in FIG. 8 for an example of the technique adopted when the semiconductor device is obtained as the microdevice by forming a predetermined circuit pattern on the wafer or the like as the photosensitive substrate by using the exposure apparatus illustrated in each of the embodiments described above.

At first, in step 301 in FIG. 8, a metal film is vapor-deposited on one lot of wafers. In the next step 302, a photoresist is applied onto the metal film of one lot of wafers. After that, in step 303, respective shot areas on one lot of wafers are successively subjected to exposure and transfer with an image of a pattern on the mask via the projection optical system by using the exposure apparatus of each of the embodiments described above. After that, in step 304, the photoresist on one lot of wafers is developed, and then etching is performed by using the resist pattern as the mask on one lot of wafers in step 305. Thus, a circuit pattern corresponding to the pattern on the mask is formed on the respective shot areas on the respective wafers. After that, for example, a circuit pattern is formed for further upper layers. Thus, a device such as a semiconductor element is produced. According to the method for producing the semiconductor device described above, the semiconductor device having the extremely fine and minute circuit pattern can be obtained with a good

throughput.

When the exposure apparatus according to each of the embodiments described above is used, a liquid crystal display element as a microdevice can be also obtained by forming a predetermined pattern (for example, a circuit pattern or an electrode pattern) on a plate (glass substrate). An exemplary technique for such a procedure will be explained below with reference to a flow chart shown in FIG. 9. In a pattern-forming step 401 shown in FIG. 9, a so-called lithography step is executed, in which a photosensitive substrate (for example, a glass substrate applied with photoresist) is subjected to transfer and exposure with a pattern on a mask by using the exposure apparatus according to each of the embodiments described above. A predetermined pattern including a large number of electrodes and other components is formed on the photosensitive substrate in accordance with the photolithography step. After that, the exposed substrate is subjected to respective steps including, for example, a development step, an etching step, and reticle-peeling off step. Accordingly, the predetermined pattern is formed on the substrate, and the procedure proceeds to the next color filter-forming step 402.

Subsequently, in the color filter-forming step 402, a color filter is formed, in which a large number of sets of three dots corresponding to R (Red), G (Green), and B (Blue) are arranged in a matrix form, or a plurality of sets of filters of three

stripes of R, G, and B are arranged in the horizontal scanning line direction. After the color filter-forming step 402, a cell-assembling step 403 is executed. In the cell-assembling step 403, a liquid crystal panel (liquid crystal cell) is assembled by using, for example, the substrate having the predetermined pattern obtained in the pattern-forming step 401 and the color filter obtained in the color filter-forming step 402. In the cell-assembling step 403, for example, a liquid crystal is injected into the space between the substrate having the predetermined pattern obtained in the pattern-forming step 401 and the color filter obtained in the color filter-forming step 402 to produce a liquid crystal panel (liquid crystal cell).

After that, in a module-assembling step 404, respective parts including, for example, a backlight and an electric circuit for effecting the display action on the assembled liquid crystal panel (liquid crystal cell) are attached to complete the liquid crystal display element. According to the method for producing the liquid crystal display element, it is possible to obtain, with a good throughput, the liquid crystal display element having the extremely fine and minute circuit pattern.

In each of the embodiments described above, the four-spot or annular secondary light source is illustratively formed for the modified illumination. However, it is also possible to form a so-called multi-spot or multiple-spot secondary light source including, for example, a two-spot secondary light source

composed of two surface light sources eccentric with respect to the optical axis and an eight-spot secondary light source composed of eight surface light sources eccentric with respect to the optical axis.

In each of the embodiments described above, the present invention has been explained as exemplified by the projection exposure apparatus provided with the illumination optical apparatus. However, it is clear that the present invention is applicable to a general illumination optical apparatus for illuminating an illumination objective plane other than the mask.

#### EFFECT OF THE INVENTION

As explained above, the illumination optical apparatus according to each embodiment is provided with the aspect ratio-changing element for changing the aspect ratio of the incoming light beam in order to change the angle of incidence of the incoming light beam in the predetermined direction into the optical integrator. Therefore, the entire size of the secondary light source can be changed in the predetermined direction owing to the function of the aspect ratio-changing element. Consequently, it is possible to realize the mutually different illumination conditions in the orthogonal two directions on the illumination objective plane.

Therefore, the exposure apparatus, which is incorporated with

the illumination optical apparatus according to each embodiment, is capable of setting the optimum illumination conditions in the orthogonal two directions on the mask in which the pattern has orientation. It is possible to produce the good microdevice under the satisfactory illumination condition. Further, according to the present invention, the pattern on the mask can be correctly transferred under the suitable illumination condition. Simultaneously, for example, it is possible to realize the exposure method and the exposure apparatus which make it possible to highly accurately confirm the optical performance of the projection optical system when the pattern on the mask is correctly transferred. Further, it is possible to produce the good microdevice.

(57) *CLAIMS*

What is claimed is:

1. An illumination optical apparatus, comprising: a first optical integrator which forms a first multiple light source on the basis of the light beam from the light source; a second optical integrator which forms a second multiple light source on the basis of the light beam from the first multiple light source, for illuminating an illumination objective plane with a light beam from the second multiple light source, further comprising a magnification-varying optical system which is arranged in an optical path between the first optical

integrator and the second optical integrator and which similarly changes an entire size of the second multiple light source; and an aspect ratio-changing element which changes an aspect, ratio of an incoming light beam in order to change an angle of incidence of the incoming light beam in a predetermined direction into the optical integrator.

2. The illumination optical apparatus according to claim 1, wherein the aspect ratio-changing element is constructed to be rotatable about a center of an optical axis of the aspect ratio-changing element.

3. The illumination optical apparatus according to claim 1, wherein the aspect ratio-changing element includes a first aspect ratio-changing element which is arranged in the optical path between the light source and the first optical integrator and changes an angle of incidence of the incoming light beam into the first optical integrator in a first direction, and a second aspect ratio-changing element which is arranged in the optical path between the light source and the first optical integrator and changes an angle of incidence of the incoming light beam into the first optical integrator in a second direction perpendicular to the first direction.

4. The illumination optical apparatus according to claim 1, wherein the aspect ratio-changing element includes a first prism which has a refractive surface having a concave cross section in the predetermined direction, a second prism which

has a refractive surface having a convex cross section formed complementarily with the refractive surface having the concave cross section of the first prism, and a driving unit which is connected to at least one of the first prism and the second prism and moves at least one of the first prism and the second prism along an optical axis.

5. The illumination optical apparatus according to claim 4, wherein the concave cross section of the first prism has a V-shaped configuration.

6. An illumination optical apparatus, comprising: an optical integrator which forms a multiple light source on the basis of the light beam from the light source; a guiding optical system which guides the light beam from the optical integrator to the illumination objective plane; a light beam-converting element which converts the light beam from the light source into a light beam having a predetermined cross-sectional configuration or a light beam having a predetermined light intensity distribution; and an aspect ratio-changing element which is arranged in the optical path between the light beam-converting element and the optical integrator and changes an aspect ratio of an incoming light beam in order to change an angle of incidence of the incoming light beam in a predetermined direction into the optical integrator.

7. The illumination optical apparatus according to claim 6, wherein the aspect ratio-changing element is constructed to be



rotatable about a center of an optical axis of the aspect ratio-changing element.

8. The illumination optical apparatus according to claim 6, wherein the aspect ratio-changing element includes a first aspect ratio-changing element which is arranged in the optical path between the light source and the first optical integrator and changes an angle of incidence of the incoming light beam into the first optical integrator in a first direction, and a second aspect ratio-changing element which is arranged in the optical path between the light source and the first optical integrator and changes an angle of incidence of the incoming light beam into the first optical integrator in a second direction perpendicular to the first direction.

9. The illumination optical apparatus according to claim 6, wherein the aspect ratio-changing element includes a first prism which has a refractive surface having a concave cross section in the predetermined direction, a second prism which has a refractive surface having a convex cross section formed complementarily with the refractive surface having the concave cross section of the first prism, and a driving unit which is connected to at least one of the first prism and the second prism and moves at least one of the first prism and the second prism along an optical axis.

10. The illumination optical apparatus according to claim 9, wherein the concave cross section of the first prism has a V-shaped configuration.

11. An illumination optical apparatus comprising: an illumination optical system which illuminates an illumination objective; the illumination optical system comprising a varying mechanism which varies at least one of a size and a shape of an illumination light beam on a pupil of the illumination optical system, wherein: the varying mechanism includes a first displacement unit which is arranged in an illumination optical path and displaces the illumination light beam symmetrically with respect to an optical axis of the illumination optical system in a first direction perpendicular to the optical axis of the illumination optical system; a second displacement unit which is arranged in the illumination optical path and displaces the illumination light beam symmetrically with respect to the optical axis in a second direction which is perpendicular to the optical axis and which intersects the first direction; and a magnification-varying optical system which varies the size of the illumination light beam.

12. The illumination optical apparatus according to claim 11, wherein the illumination optical system includes a light shape converter which converts the shape of the illumination light beam into a desired light beam shape and which guides the illumination light beam converted to have the desired light beam shape to the varying mechanism.

13. The illumination optical apparatus according to claim 12, wherein the light shape converter includes a first diffractive optical member which converts the shape of the illumination light beam into a first light beam shape, and a second diffractive optical member which is provided exchangeably with the first diffractive optical member and which converts the shape of the illumination light beam into a second light beam shape.

14. The illumination optical apparatus according to claim 11, wherein the illumination optical system includes an optical integrator which is arranged in an optical path between the varying mechanism and the illumination objective and which uniformly illuminates the illumination objective.

15. An illumination optical apparatus comprising: an illumination optical system which illuminates an illumination objective; the illumination optical system comprising a varying mechanism which varies at least one of a size and a shape of an illumination light beam on a pupil of the illumination optical system, wherein: the varying mechanism includes an annular ratio-varying unit which converts the illumination light beam into one having an annular configuration with a desired annular ratio; and a first displacement unit which is arranged in an illumination optical path and displaces the illumination light beam symmetrically with respect to an optical axis of the

illumination optical system in a first direction perpendicular to the optical axis of the illumination optical system.

16. The illumination optical apparatus according to claim 15, wherein the varying mechanism includes a magnification-varying optical system which varies the size of the illumination light beam.

17. The illumination optical apparatus according to claim 16, wherein the varying mechanism includes a second displacement unit which is arranged in the illumination optical path and displaces the illumination light beam symmetrically with respect to the optical axis in a second direction which is perpendicular to the optical axis and which intersects the first direction.

18. The illumination optical apparatus according to claim 17, wherein the illumination optical system includes a light shape converter which converts the shape of the illumination light beam into a desired light beam shape and which guides the illumination light beam converted to have the desired light beam shape to the varying mechanism.

19. The illumination optical apparatus according to claim 18, wherein the light shape converter includes a first diffractive optical member which converts the shape of the illumination light beam into a first light beam shape, and a second diffractive optical member which is provided exchangeably with

the first diffractive optical member and which converts the shape of the illumination light beam into a second light beam shape.

20. The illumination optical apparatus according to claim 15, wherein the illumination optical system includes an optical integrator which is arranged in an optical path between the varying mechanism and the illumination objective and which uniformly illuminates the illumination objective.

21. An exposure apparatus comprising: the illumination optical apparatus according to one of claims 1 to 20; and a projection optical system which projects an image of the pattern onto a photosensitive substrate arranged at an illumination objective plane.

22. A method of manufacturing a microdevice, comprising the steps of: an exposing step of exposing a pattern on the mask onto the photosensitive substrate with the exposure apparatus according to claim 21; and a developing step of developing the photosensitive substrate exposed in the exposing step.

23. An exposure method for exposing a pattern on a mask onto a photosensitive substrate, comprising: an illuminating step of illuminating the mask via an illumination optical system; and a projecting step of projecting an image of the pattern on the mask onto the photosensitive substrate, wherein: the illuminating step comprises a converting step of converting the

illumination light beam into one having an annular configuration on the pupil of the illumination optical system; a first displacing step of displacing an illumination light beam symmetrically with respect to an optical axis of the illumination optical system in a first direction perpendicular to the optical axis of the illumination optical system; and a second displacing step of displacing the illumination light beam symmetrically with respect to the optical axis in a second direction which is perpendicular to the optical axis and which intersects the first direction.

24. The exposure method according to claim 23, wherein the illuminating step further comprises a step of changing a size of the illumination light beam.

25. An exposure method for exposing a pattern on a mask onto a photosensitive substrate, comprising: an illuminating step of illuminating the mask via an illumination optical system; and a projecting step of projecting an image of the pattern on the mask onto the photosensitive substrate, wherein: the illuminating step comprises a first displacing step of displacing an illumination light beam symmetrically with respect to an optical axis of the illumination optical system in a first direction perpendicular to the optical axis of the illumination optical system; a second displacing step of displacing the illumination light beam symmetrically with respect to the optical axis in a second direction which is perpendicular to the optical axis and which intersects the

first direction; and a changing step of changing a size of the illumination light beam.

26. An exposure method for exposing a pattern on a mask onto a photosensitive substrate, comprising: an illuminating step of illuminating the mask via an illumination optical system; and a projecting step of projecting an image of the pattern on the mask onto the photosensitive substrate, wherein: the illuminating step comprises a changing step of changing an illumination condition for the mask; the changing step comprises a selecting step of selecting at least one of a first setting step of setting a first illumination condition for the illumination optical system, and a second setting step of setting a second illumination condition for the illumination optical system; the first setting step comprises a step of converting the illumination light beam into one having an annular configuration on the pupil of the illumination optical system, a first displacing step of displacing the illumination light beam symmetrically with respect to the optical axis in the first direction which is perpendicular to the optical axis of the illumination optical system, and a second displacing step of displacing the illumination light beam symmetrically with respect to the optical axis in a second direction which is perpendicular to the optical axis and which intersects the first direction; and the second setting step comprises a first displacing step of displacing the illumination light beam symmetrically with respect to the optical axis in the first direction which is perpendicular to the optical axis of the

illumination optical system, a second displacing step of displacing the illumination light beam symmetrically with respect to the optical axis in the second direction which is perpendicular to the optical axis and which intersects the first direction, and a step of changing a size of the illumination light beam.

27. An exposure method for exposing a pattern on a mask onto a photosensitive substrate, comprising: an illuminating step of illuminating the mask via an illumination optical system; and a projecting step of projecting an image of the pattern on the mask onto the photosensitive substrate, wherein: the illuminating step comprises a varying step of varying at least one of a size and a shape of an illumination light beam on a pupil of the illumination optical system; the varying step comprises an annular ratio-varying step of converting the illumination light beam into one having an annular configuration having a desired annular ratio on the pupil of the illumination optical system, and a first displacing step of displacing the illumination light beam symmetrically with respect to the optical axis of the illumination optical system in the first direction which is perpendicular to the optical axis.

28. The exposure method according to claim 27, wherein the varying step further comprises a step of changing a size of the illumination light beam.



29. The exposure method according to claim 28, wherein the varying step further comprises a second displacing step of displacing the illumination light beam symmetrically with respect to the optical axis in a second direction which is perpendicular to the optical axis and which intersects the first direction.

30. The exposure method according to claim 27, wherein the illuminating step further comprises a light shape-converting step of converting a shape of the illumination light beam into a desired light beam shape before the varying step.

31. The exposure method according to claim 30, wherein the light shape-converting step comprises a first diffracting step of converting the shape of the illumination light beam into a first light beam shape by using a first diffractive optical member, and a second diffracting step of converting the shape of the illumination light beam into a second light beam shape by using a second diffractive optical member which is provided exchangeably with the first diffractive optical member.

32. The exposure method according to claim 27, wherein the illuminating step comprises uniformly illuminating step of illuminating the illumination objective by using an optical integrator.

33. An exposure method for exposing a pattern on a mask onto a photosensitive substrate, comprising: an illuminating step of

illuminating the mask via an illumination optical system; and a projecting step of projecting an image of the pattern on the mask onto the photosensitive substrate, wherein: the illuminating step comprises a changing step of changing an illumination condition for the mask; the changing step comprises a selecting step of selecting at least one of a first setting step of setting a first illumination condition for the illumination optical system, and a second setting step of setting a second illumination condition for the illumination optical system; the first setting step comprises an annular ratio varying step of converting a the illumination light beam into one having an annular configuration with a desired annular ratio on the pupil of the illumination optical system, and a changing step of changing a size of the illumination light beam; and the second setting step comprises a step of displacing the illumination light beam symmetrically with respect to the optical axis in a predetermined direction which is perpendicular to the optical axis of the illumination optical system, and a changing step of changing a size of the illumination light beam.

34. An exposure method for exposing a pattern on a mask onto a photosensitive substrate, comprising: an illuminating step of illuminating the mask via an illumination optical system; and a projecting step of projecting an image of the pattern on the mask onto the photosensitive substrate, wherein: the illuminating step comprises an annular ratio varying step of converting a the illumination light beam into one having an

annular configuration with a desired annular ratio on the pupil of the illumination optical system, and a first displacing step of displacing the illumination light beam symmetrically with respect to the optical axis in a first direction which is perpendicular to the optical axis of the illumination optical system, and a second displacing step of displacing the illumination light beam symmetrically with respect to the optical axis in the second direction which is perpendicular to the optical axis and which intersects the first direction.

35. An exposure method for exposing a pattern on a mask onto a photosensitive substrate, comprising: an illuminating step of illuminating the mask via an illumination optical system; and a projecting step of projecting an image of the pattern on the mask onto the photosensitive substrate, wherein: the illuminating step comprises a changing step of changing an illumination condition for the mask; the changing step comprises a selecting step of selecting at least one of a first setting step of setting a first illumination condition for the illumination optical system, a second setting step of setting a second illumination condition for the illumination optical system, and a third setting step of setting a third illumination condition for the illumination optical system; the first setting step comprises an annular ratio varying step of converting a the illumination light beam into one having an annular configuration with a desired annular ratio on the pupil of the illumination optical system, a first displacing step of displacing the illumination light beam symmetrically with

respect to the optical axis in a first direction which is perpendicular to the optical axis of the illumination optical system, and a second displacing step of displacing the illumination light beam symmetrically with respect to the optical axis in the second direction which is perpendicular to the optical axis and which intersects the first direction; the second setting step comprises an annular ratio varying step of converting a the illumination light beam into one having an annular configuration with a desired annular ratio, and a changing step of changing a size of the illumination light beam; the third setting step comprises a first displacing step of displacing the illumination light beam symmetrically with respect to the optical axis in a first direction which is perpendicular to the optical axis of the illumination optical system, a second displacing step of displacing the illumination light beam symmetrically with respect to the optical axis in the second direction which is perpendicular to the optical axis and which intersects the first direction, and a changing step of changing a size of the illumination light beam.

36. An exposure method for exposing a pattern on a mask onto a photosensitive substrate, comprising: an illuminating step of illuminating the mask via an illumination optical system; a projecting step of projecting an image of the pattern on the mask onto the photosensitive substrate by using a projection optical system, and a measuring step of measuring an optical characteristic of the projection optical system, wherein the

illuminating step comprises: an exposure condition-setting step of setting a  $\sigma$  value as an illumination condition to be within a range of  $0.4 \leq \sigma \leq 0.95$  when the projecting step is executed; and a measuring condition-setting step of setting the  $\sigma$  value as the illumination condition to be within a range of  $0.01 \leq \sigma \leq 0.3$  when the measuring step is executed.

37. The exposure method according to claim 36, further comprising: a scanning step of moving the mask and the photosensitive substrate in a scanning direction when the projecting step is executed, wherein: the illuminating step comprises a step of forming a rectangular illumination area having a length  $L_s$  of a longitudinal direction and a length  $L_l$  of a transverse direction on the mask; and a relationship of  $0.05 \leq L_s/L_l \leq 0.7$  is satisfied.

38. A method of manufacturing a microdevice, comprising the steps of: an exposing step of exposing a pattern on the mask onto the photosensitive substrate by using the exposing method according to one of claims 23 to 37; and a developing step of developing the photosensitive substrate exposed in the exposing step.

39. An exposure apparatus for exposing a pattern on a mask onto a photosensitive substrate, comprising: an illumination optical system which illuminates the mask; and a projection optical system which projects an image of the pattern on the mask onto the photosensitive substrate, wherein: the illumination optical

system includes an illumination condition-setting mechanism which is attached to the illumination optical system and sets a  $\sigma$  value as an illumination condition to be within a range of  $0.4 \leq \sigma \leq 0.95$  when the photosensitive substrate is exposed with the pattern on the mask and which sets the  $\sigma$  value as the illumination condition to be within a range of  $0.01 \leq \sigma \leq 0.3$  when an optical characteristic of the projection optical system is measured.

40. The exposure apparatus according to claim 39, further comprising a scanning unit which moves the mask and the photosensitive substrate in a scanning direction when the photosensitive substrate is exposed with the pattern on the mask, wherein: a relationship of  $0.05 \leq L_s/L_l \leq 0.7$  is satisfied provided that  $L_s$  represents a length in a transverse direction of an illumination area formed on the mask by the illumination optical system, and  $L_l$  represents a length in a longitudinal direction of the illumination area formed on the mask by the illumination optical system.

41. A method of manufacturing a microdevice, comprising the steps of: an exposing step of exposing a pattern on the mask onto the photosensitive substrate by using the exposing apparatus according to claim 39 or 40; and a developing step of developing the photosensitive substrate exposed in the exposing step.

# (19) 대한민국특허청 (KR) (12) 공개특허공보 (A)

(51) 。 Int. Cl. <sup>7</sup>  
G02B 27/18

(11) 공개번호 특2002 - 0042462  
(43) 공개일자 2002년06월05일

(21) 출원번호 10 - 2001 - 0074517  
(22) 출원일자 2001년11월28일

(30) 우선권주장 JP - P - 2000 - 0036  
3225  
JP - P - 2001 - 0007 2000년11월29일 일본 (JP)  
4240 2001년03월15일 일본 (JP)

(71) 출원인 가부시킴가이사 니콘  
시마무라 테루오  
일본 도쿄도 지요다구 마루노우찌 3쵸메 2방 3고

(72) 발명자 다니츠오사무  
일본도쿄도지요다구마루노우치3쵸메2방3고가부시킴가이사니콘내  
시부야마사토  
일본도쿄도지요다구마루노우치3쵸메2방3고가부시킴가이사니콘내  
도요다미츠노리  
일본도쿄도지요다구마루노우치3쵸메2방3고가부시킴가이사니콘내

(74) 대리인 김창세

심사청구 : 없음

(54) 조명 광학 장치, 해당 조명 광학 장치를 구비한 노광장치, 마이크로디바이스의 제조 방법 및 노광 방법

## 요약

본 발명의 목적은 피조사면상의 직교하는 2 방향에서 서로 다른 조명 조건을 실현할 수 있는 조명 광학 장치를 제공하는 것이다.

광원 수단(1)으로부터의 광속(光束)에 근거하여 제 1 다수 광원을 형성하기 위한 제 1 광학 적분기(6)와, 제 1 다수 광원으로부터의 광속에 근거하여 보다 다수의 제 2 다수 광원을 형성하기 위한 제 2 광학 적분기(8) 사이의 광로중에, 제 2 다수 광원의 전체 크기를 상사(相似)적으로 변경하기 위한 변배 광학계(7)가 배치되어 있다. 또한, 제 1 광학 적 분기로의 입사 광속의 소정 방향에 따른 입사 각도를 변화시키기 위해서 입사 광속의 중횡비를 변경하는 중횡비 변경 소자(10)를 구비하고 있다.

대표도  
도 1

명세서

도면의 간단한 설명

도 1은 본 발명의 실시예 1에 따른 조명 광학 장치를 구비한 노광 장치의 구성을 개략적으로 도시하는 도면,

도 2는 플라이 아이 렌즈의 뒤측(後側) 초점면에 형성되는 4극 형상의 2차 광원의 구성을 개략적으로 도시하는 도면,

도 3은 아포컬(afocal) 줌 렌즈의 광로중에 배치된 V홈 액시콘(axicon)을 구성하는 한 쌍의 프리즘의 구성을 개략적으로 도시하는 도면,

도 4는 V홈 액시콘의 간격의 변화, 아포컬 줌 렌즈의 배율의 변화 및 줌 렌즈의 초점 거리의 변화가 4극 형상의 2차 광원에 미치는 영향을 모식적으로 설명하는 도면,

도 5는 V홈 액시콘의 간격의 변화, 아포컬 줌 렌즈의 배율의 변화 및 줌 렌즈의 초점 거리의 변화가 고리띠 형상의 2차 광원에 미치는 영향을 모식적으로 설명하는 도면,

도 6은 V홈 액시콘의 굴절면 형상에 관한 변형예를 나타내는 도면,

도 7은 V홈 액시콘의 회전 및 조합에 관한 변형예를 나타내는 도면,

도 8은 마이크로디바이스로서의 반도체 장치를 얻을 때의 방법의 흐름도,

도 9는 마이크로디바이스로서의 액정 표시 소자를 얻을 때의 방법의 흐름도,

도 10은 본 발명의 실시예 2에 따른 조명 광학 장치를 구비한 노광 장치의 구성을 개략적으로 도시하는 도면,

도 11은 실시예 2에 있어서 아포컬 렌즈의 앞측 렌즈군과 뒤측 렌즈군 사이의 광로중에 배치된 3개의 액시콘의 구성을 개략적으로 도시하는 사시도,

도 12는 실시예 2의 4극 조명에 있어서 형성되는 2차 광원에 대한 원추 액시콘의 작용을 설명하는 도면,

도 13은 실시예 2의 4극 조명에 있어서 형성되는 2차 광원에 대한 줌 렌즈의 작용을 설명하는 도면,

도 14는 실시예 2의 4극 조명에 있어서 형성되는 2차 광원에 대한 제 1 V홈 액시콘 및 제 2 V홈 액시콘의 작용을 설명하는 도면,

도 15는 실시예 2의 4극 조명에 있어서 형성되는 원 형상의 각 면 광원에 대한 원추 액시콘, 줌 렌즈, 제 1 V홈 액시콘 및 제 2 V홈 액시콘의 작용을 설명하는 도면,

도 16은 실시예 2에 있어서 특성이 다른 3 종류의 4극 조명용 회절 광학 소자를 거쳐서 형성되는 각 면 광원 및 그의 이동 범위에 대하여 설명하는 도면,

도 17은 실시예 2의 변형예 1에 있어서 특성이 다른 4 종류의 4극 조명용 회절 광학 소자를 거쳐서 형성되는 각 면 광원 및 그의 이동과 변형에 대하여 설명하는 도면,

도 18은 실시예 2의 변형예 1에 있어서 특성이 다른 4 종류의 4극 조명용 회절 광학 소자를 거쳐서 형성되는 각 면 광원 및 그의 이동과 변형에 대하여 설명하는 도면,



도 19는 실시예 2의 변형예 2에 있어서 특성이 다른 2 종류의 4극 조명용 회절 광학 소자를 거쳐서 형성되는 각 면 광원 및 그의 이동과 변형에 대하여 설명하는 도면,

도 20은 실시예 2의 고리띠 조명에 있어서 형성되는 2차 광원에 대한 원추 액시콘의 작용을 설명하는 도면,

도 21은 실시예 2의 고리띠 조명에 있어서 형성되는 2차 광원에 대한 줌 렌즈의 작용을 설명하는 도면,

도 22는 실시예 2의 고리띠 조명에 있어서 형성되는 2차 광원에 대한 제 1 V홈 액시콘 및 제 2 V홈 액시콘의 작용을 설명하는 도면,

도 23은 실시예 2의 변형예 3를 설명하는 도면,

도 24는 실시예 2의 원형 조명에 있어서 형성되는 2차 광원에 대한 제 1 V홈 액시콘 및 제 2 V홈 액시콘의 작용을 설명하는 도면,

도 25는 본 발명의 실시예 3에 따른 조명 광학 장치를 구비한 노광 장치의 구성을 개략적으로 도시하는 도면,

도 26은 실시예 3에 있어서 아포컬 렌즈의 광로중에 배치된 한 쌍의 V홈 액시콘의 구성을 개략적으로 도시하는 사시도,

도 27은 본 발명의 실시예 4에 따른 조명 광학 장치를 구비한 노광 장치의 구성을 개략적으로 도시하는 도면,

도 28은 실시예 4에 있어서 아포컬 렌즈의 광로중에 배치된 원추 액시콘 및 제 1 V홈 액시콘의 구성을 개략적으로 도시하는 사시도,

도 29는 본 발명의 실시예 5에 따른 조명 광학 장치를 구비한 노광 장치의 구성을 개략적으로 도시하는 도면,

도 30은 실시예 5에 있어서의 제 2 회절 광학 소자의 작용을 설명하는 도면.

도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명

1 : 광원4 : 회절 광학 소자

5 : 아포컬 줌 렌즈6 : 마이크로 플라이 아이

7 : 줌 렌즈8 : 플라이 아이 렌즈

8a : 마이크로 플라이 아이9 : 콘덴서 광학계

10 : V홈 액시콘11, 72 : 회절 광학 소자

12 : 아포컬 렌즈14 : 원추 액시콘

15, 16 : V홈 액시콘17 : 마스크 블라인드

18 : 결상 광학계20 : 입력 수단

21 : 제어계22~29 : 구동계

70 : 로드형 적분기71 : 줌 렌즈

73 : 입력 렌즈M : 마스크

PL : 투영 광학계W : 웨이퍼

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 조명 광학 장치 및 해당 조명 광학 장치를 구비한 노광 장치에 관한 것으로, 특히 반도체 소자, 촬상 소자, 액정 표시 소자, 박막 자기 헤드 등의 마이크로디바이스를 리소그래피 공정으로 제조하기 위한 노광 장치에 적합한 조명 광학 장치에 관한 것이다.

이러한 종류의 전형적인 노광 장치에 있어서는, 광원으로부터 사출된 광속이, 광학 적분기로서의 플라이 아이 렌즈를 거쳐서, 다수의 광원으로 이루어지는 실질적인 면 광원으로서의 2차 광원을 형성한다. 2차 광원으로부터의 광속은, 플라이 아이 렌즈의 뒤측(後側) 초점면 근방에 배치된 개구 조리개를 거쳐서 제한된 후, 콘덴서 렌즈에 입사된다.

콘덴서 렌즈에 의해 집광된 광속은, 소정의 패턴이 형성된 마스크를 중첩적으로 조명한다. 마스크의 패턴을 투과한 광은 투영 광학계를 거쳐서 웨이퍼상에 결상된다. 이렇게 해서, 웨이퍼상에는 마스크 패턴이 투영 노광(전사)된다. 또, 마스크에 형성된 패턴은 고집적화되어 있어, 이 미세 패턴을 웨이퍼상에 정확히 전사하기 위해서는 웨이퍼상에서 균일한 조도 분포를 얻는 것이 불가결하다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

그래서, 플라이 아이 렌즈의 뒤측 초점면에 원 형상의 2차 광원을 형성하고, 그 크기를 변화시켜 조명의 코히런스  $\sigma$  ( $\sigma$  값 = 개구 조리개 직경/투영 광학계의 동공 직경, 또는  $\sigma$  값 = 조명 광학계의 사출측 개구수/투영 광학계의 입사측 개구수)를 변화시키는 기술이 주목되고 있다. 또한, 플라이 아이 렌즈의 뒤측 초점면에 고리띠 형상이나 4극 형상의 2차 광원을 형성하여, 투영 광학계의 초점 심도나 해상력을 향상시키는 기술이 주목되고 있다.

그러나, 상술한 바와 같이 종래 기술에서는, 원 형상의 2차 광원에 근거한 통상의 원형 조명의 경우도, 고리띠 형상이나 4극 형상의 2차 광원에 근거한 변형 조명(고리띠 조명이나 4극 조명)의 경우도, 피조사면인 마스크상의 1점에 입사하는 광속의 단면 형상이 마스크상의 직교하는 2 방향에 관하여 동일한 위치 관계에 있다. 바꿔 말하면, 종래 기술에서는 피조사면상의 직교하는 2 방향에서 조명 조건이 동일하다. 그 결과, 마스크 패턴에 방향성이 있는 경우, 마스크상의 직교하는 2 방향에서 최적인 조명 조건을 실현할 수 없다. 그런데, 또한 최근에 있어서는, 적절한 조명 조건을 기초로 마스크의 패턴을 정확하게 전사하는 것과, 동시에 마스크의 패턴을 정확하게 전사하는데 있어서, 투영 광학계의 광학 성능을 고정밀도로 확인할 수 있는 것이 갈망되고 있다.

본 발명은, 상술한 과제를 감안하여 이루어진 것으로서, 피조사면상의 직교하는 2 방향에서 서로 다른 조명 조건을 실현할 수 있는 조명 광학 장치 및 이 조명 광학 장치를 구비한 노광 장치를 제공하는 것을 목적으로 한다. 또한, 본 발명은, 패턴에 방향성이 있는 마스크상의 직교하는 2 방향에서 최적인 조명 조건을 설정할 수 있는 노광 장치를 이용하여, 양호한 조명 조건을 기초로 양호한 마이크로디바이스를 제조할 수 있는 마이크로디바이스의 제조 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다. 또한, 본 발명은, 적절한 조명 조건을 기초로 마스크의 패턴을 정확하게 전사할 수 있고, 동시에 마스크의 패턴을 정확하게 전사하는데 있어서, 투영 광학계의 광학 성능을 고정밀도로 확인할 수 있는 노광 장치나 노광 방법 등을 제공하는 것도 목적으로 한다.

## 발명의 구성 및 작용

상기 과제를 해결하기 위해서, 본 발명의 제 1 발명에서는, 광원 수단으로부터의 광속에 근거하여 제 1 다수 광원을 형성하기 위한 제 1 광학 적분기와, 상기 제 1 다수 광원으로부터의 광속에 근거하여 보다 다수의 제 2 다수 광원을 형성하기 위한 제 2 광학 적분기를 구비하고, 상기 제 2 다수 광원으로부터의 광속으로 피조사면을 조명하는 조명 광학 장치에 있어서, 상기 제 1 광학 적분기와 상기 제 2 광학 적분기 사이의 광로중에 배치되어, 상기 제 2 다수 광원의 전체 크기를 상사적으로 변경하기 위한 변배 광학계와, 상기 제 1 광학 적분기로의 입사 광속의 소정 방향에 따른 입사 각도를 변화시키기 위해, 상기 입사 광속의 중횡비를 변경하는 중횡비 변경 소자를 구비하고 있는 것을 특징으로 하는 조명 광학 장치를 제공한다.

본 발명의 제 2 발명에서는, 광원 수단으로부터의 광속에 근거하여 다수 광원을 형성하기 위한 광학 적분기와, 해당 광학 적분기로부터의 광속을 피조사면으로 인도하기 위한 도광 광학계를 구비한 조명 광학 장치에 있어서, 상기 광원 수단으로부터의 광속을 소정의 단면 형상을 갖는 광속 또는 소정의 광 강도 분포를 갖는 광속으로 변환하기 위한 광속 변환 소자와, 상기 광속 변환 소자와 상기 광학 적분기 사이의 광로중에 배치되어, 상기 광학 적분기로의 입사 광속의 소정 방향에 따른 입사 각도를 변화시키기 위해, 상기 입사 광속의 중횡비를 변경하는 중횡비 변경 소자를 구비하고 있는 것을 특징으로 하는 조명 광학 장치를 제공한다.

제 1 발명 또는 제 2 발명의 바람직한 형태에 따르면, 상기 중횡비 변경 소자는 광축을 중심으로 하여 회전 가능하게 구성되어 있다. 또는, 상기 중횡비 변경 소자는 상기 광학 적분기 또는 상기 제 1 광학 적분기로의 입사 광속의 제 1 방향에 따른 입사 각도를 변화시키기 위한 제 1 중횡비 변경 소자와, 상기 광학 적분기 또는 상기 제 1 광학 적분기로의 입사 광속의 상기 제 1 방향과 직교하는 제 2 방향에 따른 입사 각도를 변화시키기 위한 제 2 중횡비 변경 소자를 갖는 것이 바람직하다.

또한, 제 1 발명의 바람직한 형태에 따르면, 상기 중횡비 변경 소자는, 상기 소정 방향을 따라 오목 형상 단면의 굴절면을 갖는 제 1 프리즘과, 해당 제 1 프리즘의 상기 오목 형상 단면의 굴절면과 상보(相補)적으로 형성된 볼록 형상 단면의 굴절면을 갖는 제 2 프리즘을 갖고, 상기 제 1 프리즘 및 상기 제 2 프리즘중 적어도 어느 한쪽이 광축을 따라 이동 가능하게 구성되어 있다. 이 경우, 상기 제 1 프리즘의 상기 오목 형상 단면은 V자 형태의 형상을 갖는 것이 바람직하다.

본 발명의 제 3 발명에서는, 제 1 발명 또는 제 2 발명의 조명 광학 장치와, 상기 피조사면에 배치된 마스크의 패턴을 감광성 기판에 투영 노광시키기 위한 투영 광학계를 구비하고 있는 것을 특징으로 하는 노광 장치를 제공한다.

본 발명의 제 4 발명에서는, 제 3 발명의 노광 장치에 의해 상기 마스크의 패턴을 상기 감광성 기판상에 노광하는 노광 공정과, 상기 노광 공정에 의해 노광된 상기 감광성 기판을 현상하는 현상 공정을 포함하는 것을 특징으로 하는 마이크로디바이스의 제조 방법을 제공한다.

본 발명의 제 5 발명에서는, 피조명 물체를 조명하는 조명 광학계를 구비한 조명 광학 장치에 있어서, 상기 조명 광학계는 해당 조명 광학계의 동공에서의 조명광의 크기 및 형상중 적어도 한쪽을 가변으로 하는 가변 수단을 구비하고, 상기 가변 수단은, 상기 조명 광학계의 광축과 직교하는 제 1 방향을 따라 상기 광축을 사이에 두고 대칭으로 상기 조명광을 변위시키는 제 1 변위 수단과, 상기 광축과 직교하고 또한 상기 제 1 방향과 교차하는 제 2 방향을 따라 상기 광축을 사이에 두고 대칭으로 상기 조명광을 변위시키는 제 2 변위 수단과, 상기 조명광의 크기를 가변으로 하는 변배 광학계를 갖는 것을 특징으로 하는 조명 광학 장치를 제공한다.

제 5 발명의 바람직한 형태에 따르면, 상기 조명 광학계는, 상기 조명광의 형상을 소망하는 광속 형상으로 변환하고, 해당 소망하는 광속 형상으로 변환된 조명광을 상기 가변 수단으로 인도하는 광 형상 변환 수단을 구비하고 있다. 이 경우, 상기 광 형상 변환 수단은, 상기 조명광의 형상을 제 1 광속 형상으로 변환하는 제 1 회절 광학 부재와, 해당 제 1 회절 광학 부재와 교환 가능하게 마련되고 상기 조명광의 형상을 제 2 광속 형상으로 변환하는 제 2 회절 광학 부재를 갖는 것이 바람직하다. 또한, 상기 조명 광학계는 상기 가변 수단과 상기 피조명 물체 사이의 광로중에 배치되어 상기 피조명 물체를 균일하게 조명하는 광학 적분기를 구비하고 있는 것이 바람직하다.

본 발명의 제 6 발명에서는, 마스크의 패턴을 감광성 기판에 노광하는 노광 방법에 있어서, 조명 광학계를 거쳐서 상기 마스크를 조명하는 조명 공정과, 상기 마스크의 패턴 상(像)을 상기 감광성 기판에 투영하는 투영 공정을 포함하며, 상기 조명 공정은, 상기 조명 광학계의 동공에서의 조명광을 고리띠 형상으로 변환하는 작용을 부여하는 고리띠 작용 부여 공정과, 상기 조명 광학계의 광축과 직교하는 제 1 방향을 따라 상기 광축을 사이에 두고 대칭으로 상기 조명광을 변위시키는 제 1 변위 공정과, 상기 광축과 직교하고 또한 상기 제 1 방향과 교차하는 제 2 방향을 따라 상기 광축을 사이에 두고 대칭으로 상기 조명광을 변위시키는 제 2 변위 공정을 포함하는 것을 특징으로 하는 노광 방법을 제공한다. 이 경우, 상기 조명 공정은 상기 조명광의 크기를 가변으로 하는 변배 공정을 더 포함하는 것이 바람직하다.

본 발명의 제 7 발명에서는, 마스크의 패턴을 감광성 기판에 노광하는 노광 방법에 있어서, 조명 광학계를 거쳐서 상기 마스크를 조명하는 조명 공정과, 상기 마스크의 패턴 상을 상기 감광성 기판에 투영하는 투영 공정을 포함하며, 상기 조명 공정은, 상기 조명 광학계의 동공에 있어서 상기 조명 광학계의 광축과 직교하는 제 1 방향을 따라 상기 광축을 사이에 두고 대칭으로 조명광을 변위시키는 제 1 변위 공정과, 상기 광축과 직교하고 또한 상기 제 1 방향과 교차하는 제 2 방향을 따라 상기 광축을 사이에 두고 대칭으로 상기 조명광을 변위시키는 제 2 변위 공정과, 상기 조명광의 크기를 가변으로 하는 변배 공정을 포함하는 것을 특징으로 하는 노광 방법을 제공한다.

본 발명의 제 8 발명에서는 마스크의 패턴을 감광성 기판에 노광하는 노광 방법에 있어서, 조명 광학계를 거쳐서 상기 마스크를 조명하는 조명 공정과, 상기 마스크의 패턴 상을 상기 감광성 기판에 투영하는 투영 공정을 포함하며, 상기 조명 공정은 상기 마스크에 대한 조명 조건을 변경하는 변경 공정을 포함하고, 상기 변경 공정은 상기 조명 광학계의 제 1 조명 조건을 설정하는 제 1 설정 공정과, 상기 조명 광학계의 제 2 조명 조건을 설정하는 제 2 설정 공정중 적어도 한 쪽을 선택하는 선택 공정을 포함하고, 상기 제 1 설정 공정은, 상기 조명 광학계의 동공에서의 조명광을 고리띠 형상으로 변환하는 작용을 부여하는 고리띠 작용 부여 공정과, 상기 조명 광학계의 광축과 직교하는 제 1 방향을 따라 상기 광축을 사이에 두고 대칭으로 상기 조명광을 변위시키는 제 1 변위 공정과, 상기 광축과 직교하고 또한 상기 제 1 방향과 교차하는 제 2 방향을 따라 상기 광축을 사이에 두고 대칭으로 상기 조명광을 변위시키는 제 2 변위 공정을 포함하고, 상기 제 2 설정 공정은, 상기 조명 광학계의 광축과 직교하는 제 1 방향을 따라 상기 광축을 사이에 두고 대칭으로 상기 조명광을 변위시키는 제 1 변위 공정과, 상기 광축과 직교하고 또한 상기 제 1 방향과 교차하는 제 2 방향을 따라 상기 광축을 사이에 두고 대칭으로 상기 조명광을 변위시키는 제 2 변위 공정과, 상기 조명광의 크기를 가변으로 하는 변배 공정을 포함하는 것을 특징으로 하는 노광 방법을 제공한다.

본 발명의 제 9 발명에서는, 피조명 물체를 조명하는 조명 광학계를 구비한 조명 광학 장치에 있어서, 상기 조명 광학계는 해당 조명 광학계의 동공에서의 조명광의 크기 및 형상중 적어도 한쪽을 가변으로 하는 가변 수단을 구비하고, 상기 가변 수단은, 상기 조명광을 소망하는 고리띠비를 갖는 고리띠 형상으로 변환하는 작용을 부여하는 고리띠비 가변 수단과, 상기 조명 광학계의 광축과 직교하는 제 1 방향을 따라 상기 광축을 사이에 두고 대칭으로 상기 조명광을 변위시키는 제 1 변위 수단을 갖는 것을 특징으로 하는 조명 광학 장치를 제공한다.

제 9 발명의 바람직한 형태에 의하면, 상기 가변 수단은 상기 조명광의 크기를 가변으로 하는 변배 광학계를 갖는다. 또한, 상기 가변 수단은 상기 광축과 직교하고 또한 상기 제 1 방향과 교차하는 제 2 방향을 따라 상기 광축을 사이에 두고 대칭으로 상기 조명광을 변위시키는 제 2 변위 수단을 갖는 것이 바람직하다. 또한, 상기 조명 광학계는 상기 조명광의 형상을 소망하는 광속 형상으로 변환하고, 해당 소망하는 광속 형상으로 변환된 조명광을 상기 가변 수단으로 인도하는 광 형상 변환 수단을 구비하고 있는 것이 바람직하다. 이 경우, 상기 광 형상 변환 수단은 상기 조명광의 형상을 제 1 광속 형상으로 변환하는 제 1 회절 광학 부재와, 해당 제 1 회절 광학 부재와 교환 가능하게 마련되고 상기 조명광의 형상을 제 2 광속 형상으로 변환하는 제 2 회절 광학 부재를 갖는 것이 바람직하다. 또한, 상기 조명 광학계는 상기 가변 수단과 상기 피조명 물체 사이의 광로중에 배치되어 상기 피조명 물체를 균일하게 조명하는 광학 적분기를 구비하고 있는 것이 바람직하다.

본 발명의 제 10 발명에서는, 마스크의 패턴을 감광성 기판에 노광하는 노광 방법에 있어서, 조명 광학계를 거쳐서 상기 마스크를 조명하는 조명 공정과, 상기 마스크의 패턴 상을 상기 감광성 기판에 투영하는 투영 공정을 포함하며, 상기 조명 공정은 상기 조명 광학계의 동공에서의 조명광의 크기 및 형상중 적어도 한쪽을 가변으로 하는 가변 공정을 포함하고, 상기 가변 공정은, 상기 조명광을 소망하는 고리띠비를 갖는 고리띠 형상으로 변환하는 작용을 부여하는 고리띠 비 가변 공정과, 상기 조명 광학계의 광축과 직교하는 제 1 방향을 따라 상기 광축을 사이에 두고 대칭으로 상기 조명광을 변위시키는 제 1 변위 공정을 포함하는 것을 특징으로 하는 노광 방법을 제공한다.

제 10 발명의 바람직한 형태에 따르면, 상기 가변 공정은 상기 조명광의 크기를 가변으로 하는 변배 공정을 더 포함한다. 또한, 상기 가변 공정은 상기 광축과 직교하고 또한 상기 제 1 방향과 교차하는 제 2 방향을 따라 상기 광축을 사이에 두고 대칭으로 상기 조명광을 변위시키는 제 2 변위 공정을 더 포함하는 것이 바람직하다. 또한, 상기 조명 공정은, 상기 가변 공정 전에, 상기 조명광의 형상을 소망하는 광속 형상으로 변환하는 광 형상 변환 공정을 더 포함하는 것이 바람직하다. 이 경우, 상기 광 형상 변환 공정은, 제 1 회절 광학 부재를 이용하여 상기 조명광의 형상을 제 1 광속 형상으로 변환하는 제 1 회절 공정과, 상기 제 1 회절 광학 부재와 교환 가능하게 마련된 제 2 회절 광학 부재를 이용하여 상기 조명광의 형상을 제 2 광속 형상으로 변환하는 제 2 회절 공정을 포함하는 것이 바람직하다. 또한, 상기 조명 공정은, 상기 가변 공정 후에, 광학 적분기를 이용하여 상기 피조명 물체를 균일하게 조명하는 균일 조명 공정을 포함하는 것이 바람직하다.

본 발명의 제 11 발명에서는, 마스크의 패턴을 감광성 기판에 노광하는 노광 방법에 있어서, 조명 광학계를 거쳐서 상기 마스크를 조명하는 조명 공정과, 상기 마스크의 패턴 상을 상기 감광성 기판에 투영하는 투영 공정을 포함하며, 상기 조명 공정은 상기 마스크에 대한 조명 조건을 변경하는 변경 공정을 포함하고, 상기 변경 공정은, 상기 조명 광학계의 제 1 조명 조건을 설정하는 제 1 설정 공정과, 상기 조명 광학계의 제 2 조명 조건을 설정하는 제 2 설정 공정중 적어도 한쪽을 선택하는 선택 공정을 포함하고, 상기 제 1 설정 공정은, 상기 조명 광학계의 동공에서의 조명광을 소망하는 고리띠비를 갖는 고리띠 형상으로 변환하는 작용을 부여하는 고리띠 비 가변 공정과, 상기 조명광의 크기를 가변으로 하는 변배 공정을 포함하며, 상기 제 2 설정 공정은, 상기 조명 광학계의 광축과 직교하는 소정 방향을 따라 상기 광축을 사이에 두고 대칭으로 상기 조명광을 변위시키는 변위 공정과, 상기 조명광의 크기를 가변으로 하는 변배 공정을 포함하는 것을 특징으로 하는 노광 방법을 제공한다.

본 발명의 제 12 발명에서는, 마스크의 패턴을 감광성 기판에 노광하는 노광 방법에 있어서, 조명 광학계를 거쳐서 상기 마스크를 조명하는 조명 공정과, 상기 마스크의 패턴 상을 상기 감광성 기판에 투영하는 투영 공정을 포함하며, 상기 조명 공정은, 상기 조명 광학계의 동공에서의 조명광을 소망하는 고리띠비를 갖는 고리띠 형상으로 변환하는 작용을 부여하는 고리띠 비 가변 공정과, 상기 조명 광학계의 광축과 직교하는 제 1 방향을 따라 상기 광축을 사이에 두고 대칭으로

로 상기 조명광을 변위시키는 제 1 변위 공정과, 상기 광축과 직교하고 또한 상기 제 1 방향과 교차하는 제 2 방향을 따라 상기 광축을 사이에 두고 대칭으로 상기 조명광을 변위시키는 제 2 변위 공정을 포함하는 것을 특징으로 하는 노광 방법을 제공한다.

본 발명의 제 13 발명에서는, 마스크의 패턴을 감광성 기판에 노광하는 노광 방법에 있어서, 조명 광학계를 거쳐서 상기 마스크를 조명하는 조명 공정과, 상기 마스크의 패턴 상을 상기 감광성 기판에 투영하는 투영 공정을 포함하며, 상기 조명 공정은 상기 마스크에 대한 조명 조건을 변경하는 변경 공정을 포함하고, 상기 변경 공정은 상기 조명 광학계의 제 1 조명 조건을 설정하는 제 1 설정 공정, 상기 조명 광학계의 제 2 조명 조건을 설정하는 제 2 설정 공정, 및 상기 조명 광학계의 제 3 조명 조건을 설정하는 제 3 설정 공정중 적어도 하나를 선택하는 선택 공정을 포함하며, 상기 제 1 설정 공정은, 상기 조명 광학계의 동공에서의 조명광을 소망하는 고리띠비를 갖는 고리띠 형상으로 변환하는 작용을 부여하는 고리띠비 가변 공정과, 상기 조명 광학계의 광축과 직교하는 제 1 방향을 따라 상기 광축을 사이에 두고 대칭으로 상기 조명광을 변위시키는 제 1 변위 공정과, 상기 광축과 직교하고 또한 상기 제 1 방향과 교차하는 제 2 방향을 따라 상기 광축을 사이에 두고 대칭으로 상기 조명광을 변위시키는 제 2 변위 공정을 포함하며, 상기 제 2 설정 공정은, 상기 조명광을 소망하는 고리띠비를 갖는 고리띠 형상으로 변환하는 작용을 부여하는 고리띠비 가변 공정과, 상기 조명광의 크기를 가변으로 하는 변배 공정을 포함하고, 상기 제 3 설정 공정은, 상기 조명 광학계의 광축과 직교하는 제 1 방향을 따라 상기 광축을 사이에 두고 대칭으로 상기 조명광을 변위시키는 제 1 변위 공정과, 상기 광축과 직교하고 또한 상기 제 1 방향과 교차하는 제 2 방향을 따라 상기 광축을 사이에 두고 대칭으로 상기 조명광을 변위시키는 제 2 변위 공정과, 상기 조명광의 크기를 가변으로 하는 변배 공정을 포함하는 것을 특징으로 하는 노광 방법을 제공한다.

본 발명의 제 14 발명에서는, 상기 피조명 물체로서의 마스크를 조명하기 위한 제 5 발명 또는 제 9 발명에 기재된 조명 광학 장치와, 상기 마스크의 패턴 상을 감광성 기판에 투영하기 위한 투영 광학계를 구비하고 있는 것을 특징으로 하는 노광 장치를 제공한다.

본 발명의 제 15 발명에서는, 제 14 발명의 노광 장치를 이용하여 상기 마스크의 패턴을 상기 감광성 기판에 노광하는 노광 공정과, 상기 노광 공정에 의해 노광된 상기 감광성 기판을 현상하는 현상 공정을 포함하는 것을 특징으로 하는 마이크로디바이스의 제조 방법을 제공한다.

본 발명의 제 16 발명에서는, 제 6 발명~제 8 발명 또는 제 10 발명~제 13 발명의 노광 방법을 이용하여 상기 마스크의 패턴을 상기 감광성 기판에 노광하는 노광 공정과, 상기 노광 공정에 의해 노광된 상기 감광성 기판을 현상하는 현상 공정을 포함하는 것을 특징으로 하는 마이크로디바이스의 제조 방법을 제공한다.

본 발명의 제 17 발명에서는, 마스크의 패턴을 감광성 기판에 노광하는 노광 방법에 있어서, 조명 광학계를 거쳐서 상기 마스크를 조명하는 조명 공정과, 투영 광학계를 이용하여 상기 마스크의 패턴 상을 상기 감광성 기판에 투영하는 투영 공정과, 상기 투영 광학계의 광학 특성을 계측하는 계측 공정을 포함하며, 상기 조명 공정은, 상기 투영 공정을 실행하는데 있어 조명 조건으로서의  $\sigma$  값을  $0.4 \leq \sigma \leq 0.95$ 의 범위로 설정하는 노광 조건 설정 공정과, 상기 계측 공정을 실행하는 데 있어서 조명 조건으로서의  $\sigma$  값을  $0.01 \leq \sigma \leq 0.3$ 의 범위로 설정하는 계측 조건 설정 공정을 포함하는 것을 특징으로 하는 노광 방법을 제공한다. 이 경우, 상기 투영 공정을 실행하는데 있어, 상기 마스크와 상기 감광성 기판을 주사 방향을 따라 이동시키는 주사 공정을 더 포함하며, 상기 조명 공정은 긴쪽 방향과 짧은쪽 방향을 갖는 직사각형 형상의 조명 영역을 상기 마스크상에 형성하는 공정을 포함하고, 상기 조명 영역의 짧은쪽 방향의 길이를  $L_s$ 로 하고, 상기 조명 영역의 긴쪽 방향의 길이를  $L_l$ 로 할 때,  $0.05 < L_s/L_l < 0.7$ 의 관계를 만족시키는 것이 바람직하다.

본 발명의 제 18 발명에서는, 마스크의 패턴을 감광성 기판에 노광하는 노광 장치에 있어서, 상기 마스크를 조명하는 조명 광학계와, 상기 마스크의 패턴 상을 상기 감광성 기판에 투영하는 투영 광학계를 구비하며, 상기 조명 광학계는, 상기 마스크의 패턴을 상기 감광성 기판에 노광시킬 때, 조명 조건으로서의  $\sigma$  값을  $0.4 \leq \sigma \leq 0.95$ 의 범위로 설정하고,

또한 상기 투영 광학계의 광학 특성을 계측할 때, 조명 조건으로서의  $\sigma$  값을  $0.01 \leq \sigma \leq 0.3$ 의 범위로 설정하는 조명 조건 설정 수단을 갖는 것을 특징으로 하는 노광 장치를 제공한다. 이 경우, 상기 마스크의 패턴을 상기 감광성 기판에 노광시킬 때, 상기 마스크와 상기 감광성 기판을 주사 방향을 따라 이동시키는 주사 수단을 더 구비하고, 상기 조명 광학계에 의해 상기 마스크에 형성되는 상기 조명 영역의 짧은쪽 방향의 길이를  $L_s$ 로 하고, 상기 조명 광학계에 의해 상기 마스크에 형성되는 상기 조명 영역의 긴쪽 방향의 길이를  $L_l$ 로 할 때,  $0.05 < L_s/L_l < 0.7$ 의 관계를 만족시키는 것이 바람직하다.

#### (발명의 실시예)

본 발명의 전형적인 실시예에 있어서는, 예를 들면 회절 광학 소자와 같은 광속 변환 소자에 의해, 광원 수단으로부터의 광속을 4극 형상이나 고리띠 형상의 광속으로 변환한다. 이 4극 형상이나 고리띠 형상의 광속은 소정의 광학계에 의해 집광되고, 광축에 대하여 비스듬한 방향에서 마이크로 플라이 아이 렌즈 또는 마이크로 렌즈 어레이(이하, 「마이크로 플라이 아이」라고 함)와 같은 제 1 광학 적분기에 입사한다. 이렇게 해서, 마이크로 플라이 아이에 의해 제 1 다수 광원이 형성된다. 제 1 다수 광원으로부터의 광속은 소정의 광학계를 거친 후, 플라이 아이 렌즈와 같은 제 2 광학 적분기에 의해 제 2 다수 광원, 즉 4극 형상이나 고리띠 형상의 2차 광원을 형성한다.

본 발명에서는, 마이크로 플라이 아이로의 입사 광속의 소정 방향에 따른 입사 각도를 변화시키기 위해, 입사 광속의 중횡비를 변경하는 중횡비 변경 소자를 구비하고 있다. 중횡비 변경 소자는, 예컨대 소정 방향을 따라 V자 형상의 오목 형상 단면의 굴절면을 갖는 제 1 프리즘과, 이 제 1 프리즘의 V자 형상의 오목 형상 단면의 굴절면과 상보적으로 형성된 V자 형상의 볼록 형상 단면의 굴절면을 갖는 제 2 프리즘을 갖는다. 그리고, 제 1 프리즘 및 제 2 프리즘중 적어도 어느 한쪽이 광축을 따라 이동 가능하게 구성되어 있다.

따라서, 제 1 프리즘의 오목 형상 굴절면과 제 2 프리즘의 V자 형상의 볼록 형상 굴절면과의 간격을 변화시키면, 4극 형상이나 고리띠 형상의 2차 광원의 전체 크기가 소정 방향을 따라 변화된다. 그 결과, 본 발명의 조명 광학 장치에서는 피조사면상의 직교하는 2 방향에서 서로 다른 조명 조건을 실현할 수 있다. 따라서, 본 발명의 조명 광학 장치를 설치한 노광 장치에서는, 패턴에 방향성이 있는 마스크상의 직교하는 2 방향에서 최적의 조명 조건을 설정할 수 있어, 양호한 조명 조건을 기초로 양호한 마이크로디바이스를 제조할 수 있다.

본 발명의 실시예를 첨부 도면에 근거하여 설명한다.

#### (실시예 1)

도 1은 본 발명의 실시예 1에 따른 조명 광학 장치를 구비한 노광 장치의 구성을 개략적으로 도시하는 도면이다. 도 1에 있어서, 감광성 기판인 웨이퍼의 법선 방향을 따라 Z축을, 웨이퍼면내에 있어서 도 1의 지면에 평행한 방향으로 Y축을, 웨이퍼면내에 있어서 도 1의 지면에 수직인 방향으로 X축을 각각 설정하고 있다. 또, 도 1에서는 조명 광학 장치가 4극 조명을 행하도록 설정되어 있다.

도 1의 노광 장치는 노광광(조명광)을 공급하기 위한 광원(1)으로서, 예컨대 248nm(KrF) 또는 193nm(ArF)의 파장의 광을 공급하는 엑시머 레이저 광원을 구비하고 있다. 광원(1)으로부터 Z 방향을 따라 사출된 거의 평행한 광속은 X 방향을 따라 가늘고 길게 연장된 직사각형 형상의 단면을 갖고, 한 쌍의 렌즈(2a 및 2b)로 이루어지는 빔 익스팬더(2)에 입사된다. 각 렌즈(2a 및 2b)는 도 1의 지면내(YZ 평면내)에 있어서 부(負)의 굴절력 및 정(正)의 굴절력을 각각 갖는다. 따라서, 빔 익스팬더(2)에 입사된 광속은 도 1의 지면내에서 확대되어, 소정의 직사각형 형상의 단면을 갖는

광속으로 정형(整形)된다.

정형 광학계로서의 빔 익스펜더(2)를 통과한 거의 평행한 광속은, 절곡 미러(3)에 의해 Y방향으로 편향된 후, 4극 조명용의 회절 광학 소자(DOE)(4)에 입사한다. 일반적으로, 회절 광학 소자는 유리 기판에 노광광(조명광)의 파장 정도의 피치를 갖는 단차를 형성함으로써 구성되고, 입사 빔을 소망하는 각도로 회절시키는 작용을 갖는다. 4극 조명용의 회절 광학 소자(4)에 입사된 광속은 광축 AX를 중심으로 하여 등각도로 특정한 4개의 방향을 따라 회절되어, 4개의 광속, 즉 4극 형상의 광속으로 된다. 이와 같이, 회절 광학 소자(4)는 광원(1)으로부터의 광속을 4극 형상의 광속으로 변환하기 위한 광속 변환 소자를 구성하고 있다.

또, 회절 광학 소자(4)는 조명 광로에 대하여 삽입 및 분리가 자유롭게 구성되고, 고리띠 조명용의 회절 광학 소자(4a)나 통상 원형 조명용의 회절 광학 소자(4b)와 전환 가능하게 구성되어 있다. 고리띠 조명용의 회절 광학 소자(4a) 및 통상 원형 조명용의 회절 광학 소자(4b)의 구성 및 작용에 대해서는 후술한다. 여기서, 4극 조명용의 회절 광학 소자(4), 고리띠 조명용의 회절 광학 소자(4a) 및 통상 원형 조명용의 회절 광학 소자(4b) 사이의 전환은, 제어계(21)로부터의 지령에 근거하여 동작하는 제 1 구동계(22)에 의해 행해진다.

회절 광학 소자(4)를 거쳐서 형성된 4극 형상의 광속은 아포컬(afocal) 줌 렌즈(변배 릴레이 광학계)(5)에 입사하여, 동공면에 4개의 점(點) 상(像)(점 형상의 광원)을 형성한다. 이 4개의 점 상으로부터의 광은, 거의 평행한 광속으로 되어 아포컬 줌 렌즈(5)로부터 사출되어, 마이크로 플라이 아이(6)에 입사한다. 또, 아포컬 줌 렌즈(5)는 회절 광학 소자(4)와 마이크로 플라이 아이(6)의 입사면을 광학적으로 거의 공역인 관계로 유지하고, 또한 아포컬계(무초점 광학계)를 유지하면서, 소정의 범위에서 배율을 연속적으로 변화시킬 수 있도록 구성되어 있다. 여기서, 아포컬 줌 렌즈(5)의 배율 변화는 제어계(21)로부터의 지령에 근거하여 동작하는 제 2 구동계(23)에 의해 실행된다.

이렇게 해서, 마이크로 플라이 아이(6)의 입사면에는 광축 AX에 대하여 거의 대칭으로 비스듬한 방향에서 광속이 입사한다. 마이크로 플라이 아이(6)는 조밀하고 또한 중첩으로 배열된 다수의 정육각형 형상의 정(正)굴절력을 갖는 미소 렌즈로 이루어지는 광학 소자이다. 일반적으로, 마이크로 플라이 아이는, 예컨대 평행 평면 유리판에 에칭 처리를 실시하여 미소 렌즈군을 형성하는 것에 의해 구성된다.

여기서, 마이크로 플라이 아이를 구성하는 각 미소 렌즈는 플라이 아이 렌즈를 구성하는 각 렌즈 엘리먼트보다도 미소하다. 또한, 마이크로 플라이 아이는 서로 격절(隔絶)된 렌즈 엘리먼트로 이루어지는 플라이 아이 렌즈와는 달리, 다수의 미소 렌즈가 서로 격절되지 않고 일체적으로 형성되어 있다. 그러나, 정굴절력을 갖는 렌즈 요소가 중첩으로 배치되어 있다는 점에서 마이크로 플라이 아이는 플라이 아이 렌즈와 동일하다. 또, 도 1에서는 도면의 명료화를 위해, 마이크로 플라이 아이(6)를 구성하는 미소 렌즈의 수를 실제보다 매우 적게 나타내고 있다.

따라서, 마이크로 플라이 아이(6)에 입사된 광속은 다수의 미소 렌즈에 의해 2차원적으로 분할되어, 각 미소 렌즈의 뒤측 초점면에는 각각 1개의 4점 형상의 광원이 형성된다. 이와 같이, 마이크로 플라이 아이(6)는 광원(1)으로부터의 광속에 근거하여 다수의 광원으로 이루어지는 제 1 다수 광원을 형성하기 위한 제 1 광학 적분기를 구성하고 있다.

마이크로 플라이 아이(6)의 뒤측 초점면에 형성된 다수의 광원으로부터의 광속은, 줌 렌즈(변배 광학계)(7)를 거쳐서, 제 2 광학 적분기로서의 플라이 아이 렌즈(8)를 중첩적으로 조명한다. 또, 줌 렌즈(7)는 소정의 범위에서 초점 거리를 연속적으로 변화시킬 수 있는  $\sigma$  값 가변용의 변배 광학계로서, 마이크로 플라이 아이(6)의 뒤측 초점면과 플라이 아이



렌즈(8)의 뒤측 초점면을 광학적으로 거의 공역으로 연결하고 있다. 바꿔 말하면, 줌 렌즈(7)는 마이크로 플라이 아이(6)의 뒤측 초점면과 플라이 아이 렌즈(8)의 입사면을 실질적으로 퓨리에 변환의 관계로 연결하고 있다.

따라서, 마이크로 플라이 아이(6)의 뒤측 초점면에 형성된 다수의 4점 형상의 광원으로부터의 광속은 줌 렌즈(7)의 뒤측 초점면에, 나아가서는 플라이 아이 렌즈(8)의 입사면에, 광축 AX에 대하여 대칭적으로 편심(偏心)한 4개의 조야(粗野)로 이루어지는 4극 형상의 조야를 형성한다. 이 4극 형상의 조야의 크기는 줌 렌즈(7)의 초점 거리에 의존하여 변화된다. 또, 줌 렌즈(7)의 초점 거리의 변화는 제어계(21)로부터의 지령에 근거하여 동작하는 제 3 구동계(24)에 의해 실행된다.

플라이 아이 렌즈(8)는 정의 굴절력을 갖는 다수의 렌즈 엘리먼트를 조밀하고 또한 중첩으로 배열하는 것에 의해 구성되어 있다. 또, 플라이 아이 렌즈(8)를 구성하는 각 렌즈 엘리먼트는 마스크상에서 형성해야 할 조야의 형상(나아가서는 웨이퍼상에서 형성해야 할 노광 영역의 형상)과 상사인 직사각형 형상의 단면을 갖는다. 또한, 플라이 아이 렌즈(8)를 구성하는 각 렌즈 엘리먼트의 입사측 면은 입사측으로 볼록면을 향하게 한 구면(球面) 형상으로 형성되고, 사출측 면은 사출측으로 볼록면을 향하게 한 구면 형상으로 형성되어 있다. 따라서, 플라이 아이 렌즈(8)에 입사된 광속은 다수의 렌즈 엘리먼트에 의해 2차원적으로 분할되어, 광속이 입사한 각 렌즈 엘리먼트의 뒤측 초점면에는 다수의 광원이 각각 형성된다.

이렇게 해서, 도 2에 도시하는 바와 같이, 플라이 아이 렌즈(8)의 뒤측 초점면에는 플라이 아이 렌즈(8)로의 입사 광속에 의하여 형성되는 조야와 거의 동일한 광 강도 분포를 갖는 2차 광원, 즉 광축 AX에 대하여 대칭적으로 편심한 4개의 실질적인 면 광원(31~34)으로 이루어지는 4극 형상의 2차 광원이 형성된다. 이와 같이, 플라이 아이 렌즈(8)는 제 1 광학 적분기인 마이크로 플라이 아이(6)의 뒤측 초점면에 형성된 제 1 다수 광원으로부터의 광속에 근거하여 보다 다수의 광원으로 이루어지는 제 2 다수 광원을 형성하기 위한 제 2 광학 적분기를 구성하고 있다.

플라이 아이 렌즈(8)의 뒤측 초점면에 형성된 4극 형상의 2차 광원으로부터의 광속은, 필요에 따라 4극 형상의 광투과부를 갖는 개구 조리개를 거쳐서 제한된 후, 콘덴서 광학계(9)의 집광 작용을 받은 후에, 소정의 패턴이 형성된 마스크 M을 증첩적으로 조명한다. 마스크 M의 패턴을 투과한 광속은 투영 광학계 PL을 거쳐서 감광성 기판인 웨이퍼 W상에 마스크 패턴의 상을 형성한다. 이렇게 해서, 투영 광학계 PL의 광축 AX와 직교하는 평면(XY 평면)내에서 웨이퍼 W를 2차원적으로 구동 제어하면서 일괄 노광 또는 스캔 노광을 실행하는 것에 의해, 웨이퍼 W의 각 노광 영역에는 마스크 M의 패턴이 순차적으로 노광된다.

또, 일괄 노광에서는, 소위 스텝 앤드 리피트 방식에 따라서 웨이퍼의 각 노광 영역에 대하여 마스크 패턴을 일괄적으로 노광시킨다. 이 경우, 마스크 M상에서의 조명 영역의 형상은 정방형(正方形)에 가까운 직사각형 형상이며, 플라이 아이 렌즈(8)의 각 렌즈 엘리먼트의 단면 형상도 정방형에 가까운 직사각형 형상으로 된다. 한편, 스캔 노광에서는, 소위 스텝 앤드 스캔 방식에 따라서 마스크 및 웨이퍼를 투영 광학계에 대하여 상대 이동시키면서, 웨이퍼의 각 노광 영역에 대하여 마스크 패턴을 스캔 노광시킨다. 이 경우, 마스크 M상에서의 조명 영역의 형상은 짧은 변과 긴 변의 비가, 예를 들면 1:3의 직사각형 형상이고, 플라이 아이 렌즈(8)의 각 렌즈 엘리먼트의 단면 형상도 이것과 상사인 직사각형 형상으로 된다.

도 2를 다시 참조하면, 플라이 아이 렌즈(8)의 뒤측 초점면에 형성되는 4극 형상의 2차 광원은 4개의 정육각형 형상의 면 광원(31~34)으로 구성되어 있다. 여기서, 각 면 광원의 중심(31a~34a)은 광축 AX로부터 동일한 거리만큼 떨어져 있고, 4개의 중심(31a~34a)을 연결하여 형성되는 사각형은 광축 AX를 중심으로 하여 X 방향 및 Z 방향으로 평행한 변을 갖는 정방형이다. 즉, 플라이 아이 렌즈(8)에 의해 형성되는 4극 형상의 2차 광원은 X 방향 및 Z 방향에 관하여 동일한 위치 관계에 있다.

따라서, 피조사면인 마스크 M상의 임의의 1점에 입사하는 광속의 단면 형상도 X 방향 및 Z 방향에 관하여 동일한 위치 관계를 갖는 4극 형상으로 된다. 바꿔 말하면, 마스크 M상의 직교하는 2 방향(X 방향 및 Y 방향)에서 조명 조건이 동일하게 된다. 그래서, 실시예 1에서는 마스크 M상의 직교하는 2 방향에서 서로 다른 조명 조건을 실현하기 위해, 아포컬 줌 렌즈(5)의 광로중에 한 쌍의 프리즘(10a 및 10b)으로 이루어지는 V홈 액시콘(axicon) (10)을 배치하고 있다.

도 3은 아포컬 줌 렌즈의 광로중에 배치된 V홈 액시콘계(이하, 단지 「V홈 액시콘」이라고 함)를 구성하는 한 쌍의 프리즘의 구성을 개략적으로 도시한 도면이다. 도 1 및 도 3에 도시하는 바와 같이, V홈 액시콘(10)은 광원측부터 순서대로 광원측으로 평면을 향하게 하고 또한 피조사면측으로 오목 형상의 굴절면을 향하게 한 제 1 프리즘(10a)과, 피조사면측으로 평면을 향하게 하고 또한 광원측으로 볼록 형상의 굴절면을 향하게 한 제 2 프리즘(10b)으로 구성되어 있다. 제 1 프리즘(10a)의 오목 형상 굴절면(10c)은 X 방향과 평행한 2개의 평면으로 구성되고, Z 방향을 따라 V자 형상의 볼록 형상 단면을 갖는다.

제 2 프리즘(10b)의 볼록 형상 굴절면(10d)은 제 1 프리즘(10a)의 오목 형상 굴절면(10c)과 서로 접촉 가능하도록, 바꿔 말하면 제 1 프리즘(10a)의 오목 형상 굴절면(10c)과 상보적으로 형성되어 있다. 즉, 제 2 프리즘(10b)의 오목 형상 굴절면(10d)은 X 방향과 평행한 2개의 평면으로 구성되고, Z 방향을 따라 V자 형상의 오목 형상 단면을 갖는다. 또한, 제 1 프리즘(10a) 및 제 2 프리즘(10b)중 적어도 한쪽이 광축 AX에 따라 이동 가능하게 구성되고, 오목 형상 굴절면(10c)과 볼록 형상 굴절면(10d)의 간격이 가변으로 구성되어 있다.

또, V홈 액시콘(10)의 간격의 변화, 즉 오목 형상 굴절면(10c)과 볼록 형상 굴절면(10d)의 간격의 변화는, 제어계(21)로부터의 지령에 근거하여 동작하는 제 4 구동계(25)에 의해 실행된다. 또한, 제어계(21)에는 스텝·앤드·리피트 방식 또는 스텝·앤드·스캔 방식에 따라서 순차적으로 노광시켜야 할 각종 마스크에 관한 정보 등이 키보드 등의 입력 수단(20)을 거쳐서 입력된다.

여기서, 제 1 프리즘(10a)의 오목 형상 굴절면(10c)과 제 2 프리즘(10b)의 볼록 형상 굴절면(10d)이 서로 접촉하고 있는 상태에서는, V홈 액시콘(10)은 평행 평면판으로서 기능하며, 형성되는 4극 형상의 2차 광원에 미치는 영향은 없다. 그러나, 제 1 프리즘(10a)의 오목 형상 굴절면(10c)과 제 2 프리즘(10b)의 볼록 형상 굴절면(10d)을 이격시키면, V홈 액시콘(10)은 X 방향을 따라 평행 평면판으로서 기능하지만, Z 방향을 따라 빔 익스팬더로서 기능한다.

따라서, 오목 형상 굴절면(10c)과 볼록 형상 굴절면(10d)의 간격의 변화에 따라, 마이크로 플라이 아이(6)로의 입사 광속의 X 방향에 따른 입사 각도는 변화하지 않지만, 마이크로 플라이 아이(6)로의 입사 광속의 Y 방향에 따른 입사 각도는 변화한다. 그 결과, 도 2에 있어서의 각 면 광원(31~34)의 중심(31a~34a)은 X 방향으로 이동하지 않지만 Z 방향으로 이동한다. 이와 같이, V홈 액시콘(10)은 마이크로 플라이 아이(6)로의 입사 광속의 Y 방향에 따른 입사 각도를 변화시키기 위해 입사 광속의 중형비를 변경시키는 중형비 변경 소자를 구성하고 있다.

도 4는 V홈 액시콘의 간격의 변화, 아포컬 줌 렌즈의 배율의 변화 및 줌 렌즈의 초점 거리의 변화가 4극 형상의 2차 광원에 미치는 영향을 모식적으로 설명하는 도면이다. 도 4의 (a)에 도시하는 바와 같이, V홈 액시콘(10)의 간격이 영(

0)일 때, 즉 오목 형상 굴절면(10c)과 볼록 형상 굴절면(10d)이 서로 접촉하고 있을 때, 4극 형상의 2차 광원을 구성하는 각 면 광원은 X 방향 및 Z 방향에 관하여 동일한 위치 관계로 형성된다. 그리고, V홀 엑시콘(10)의 간격을 0에서부터 소정의 크기로 변화시키면, 도 4의 (b)에 도시하는 바와 같이, 각 면 광원은 그 형상 및 크기를 변경하지 않고 Z 방향으로 이동하여, 각 면 광원의 중심의 X 방향에 따른 간격은 변화하지 않지만, Z 방향에 따른 간격은 확대된다.

또한, V홀 엑시콘(10)의 간격이 0인 상태에 있어서, 아포컬 줌 렌즈(5)의 배율을 변화시키면, 도 4의 (c)에 도시하는 바와 같이, 각 면 광원은 그 형상 및 크기를 변경하지 않고 X 방향 및 Z 방향으로 동일한 거리만큼 이동하여, 각 면 광원의 간격은 확대 또는 축소된다. 또, V홀 엑시콘(10)의 간격이 0인 상태에 있어서, 줌 렌즈(7)의 초점 거리를 변화시키면, 도 4의 (d)에 도시하는 바와 같이, 4극 형상의 2차 광원의 전체가 상사적으로 확대 또는 축소된다. 즉, 각 면 광원은 그 형상을 변경하지 않고 그 크기가 확대 또는 축소되고, 또한 각 면 광원이 X 방향 및 Z 방향으로 동일한 거리만큼 이동한다. 또, 레이저 조사에 의한 프리즘 부재(10a 및 10b)의 열화를 회피하기 위해서, 아포컬 줌 렌즈(5)의 광로중에 있어서 4개의 점 상이 형성되는 집광점으로부터 간격을 두고 프리즘 부재(10a 및 10b)를 배치하는 것이 바람직하다.

그런데, 상술한 바와 같이, 회절 광학 소자(4)는 조명 광로에 대하여 삽입 및 분리가 자유롭게 구성되고, 또한 고리띠 조명용의 회절 광학 소자(4a)나 통상 원형 조명용의 회절 광학 소자(4b)와 전환 가능하게 구성되어 있다. 이하, 회절 광학 소자(4) 대신에 회절 광학 소자(4a)를 조명 광로중에 설정하는 것에 의해 얻어지는 고리띠 조명에 대하여 간단히 설명한다.

4극 조명용의 회절 광학 소자(4) 대신에 고리띠 조명용의 회절 광학 소자(4a)를 조명 광로중에 설정하면, 회절 광학 소자(4a)를 거쳐서 고리띠 형상의 광속이 형성된다. 회절 광학 소자(4a)를 거쳐서 형성된 고리띠 형상의 광속은 아포컬 줌 렌즈(5)에 입사하여, 동공면에 링 형상의 상(링 형상의 광원)을 형성한다. 이 링 형상의 상으로부터의 광은, 거의 평행한 광속으로 되어 아포컬 줌 렌즈(5)로부터 사출되어, 마이크로 플라이 아이(6)의 뒤측 초점면에 제 1 다수 광원을 형성한다.

마이크로 플라이 아이(6)에 의해 형성된 제 1 다수 광원으로부터의 광속은, 줌 렌즈(7)를 거쳐서 플라이 아이 렌즈(8)의 입사면에 광축 AX를 중심으로 한 고리띠 형상의 조야를 형성한다. 그 결과, 플라이 아이 렌즈(8)의 뒤측 초점면에는 입사면에 형성된 조야와 거의 동일한 광 강도를 갖는 2차 광원, 즉 광축 AX를 중심으로 한 고리띠 형상의 2차 광원이 형성된다.

도 5는 V홀 엑시콘의 간격의 변화, 아포컬 줌 렌즈의 배율의 변화 및 줌 렌즈의 초점 거리의 변화가 고리띠 형상의 2차 광원에 미치는 영향을 모식적으로 설명하는 도면이다. 도 5의 (a)에 도시하는 바와 같이, V홀 엑시콘(10)의 간격이 0일 때, 즉 오목 형상 굴절면(10c)과 볼록 형상 굴절면(10d)이 서로 접촉하고 있을 때, 고리띠 형상의 2차 광원을 구성하는 각 면 광원은 X 방향 및 Z 방향에 관하여 동일한 위치 관계로 형성된다. 그리고, V홀 엑시콘(10)의 간격을 0으로부터 소정의 크기로 변화시키면, 도 5의 (b)에 도시하는 바와 같이 고리띠 형상의 2차 광원은 그 폭을 변경하지 않고, 고리띠 형상의 2차 광원의 전체 크기가 Z 방향으로 확대되어, Z 방향으로 연장된 타원 고리 형상의 2차 광원으로 된다.

또한, V홀 엑시콘(10)의 간격이 0인 상태에 있어서, 아포컬 줌 렌즈(5)의 배율을 변화시키면, 도 5의 (c)에 도시하는 바와 같이, 고리띠 형상의 2차 광원은 그 폭을 변경하지 않고, 그 외부 직경(크기)이 확대 또는 축소된다. 또한, V홀 엑시콘(10)의 간격이 0인 상태에 있어서, 줌 렌즈(7)의 초점 거리를 변화시키면, 도 5의 (d)에 도시하는 바와 같이, 고리띠 형상의 2차 광원의 전체가 상사적으로 확대 또는 축소된다. 즉, 고리띠 형상의 2차 광원의 폭 및 외부 직경이 모두 확대 또는 축소된다.

다음에, 회절 광학 소자(4 또는 4a) 대신에 원형 조명용의 회절 광학 소자(4b)를 조명 광로중에 설정하는 것에 의해 얻어지는 통상 원형 조명에 대하여 설명한다. 원형 조명용의 회절 광학 소자(4b)는 입사한 직사각형 형상의 광속을 원형상의 광속으로 변환하는 기능을 갖는다. 따라서, 회절 광학 소자(4b)에 의해 형성된 원형상의 광속은 아포컬 줌 렌즈(5)에 의해 그 배율에 따라 확대 또는 축소되어, 마이크로 플라이 아이(6)에 입사한다.

이렇게 해서, 마이크로 플라이 아이(6)의 뒤측 초점면에는 제 1 다수 광원이 형성된다. 마이크로 플라이 아이(6)의 뒤측 초점면에 형성된 제 1 다수 광원으로부터의 광속은, 줌 렌즈(7)를 거쳐서 플라이 아이 렌즈(8)의 입사면에서 광축 AX를 중심으로 한 원형상의 조야를 형성한다. 그 결과, 플라이 아이 렌즈(8)의 뒤측 초점면에도 광축 AX를 중심으로 한 원형상의 2차 광원이 형성된다.

이 경우, V홈 액시콘(10)의 간격을 0으로부터 소정의 크기로 변화시키면, 원형상의 2차 광원은 Z 방향으로 확대되고, Z 방향으로 연장된 타원 형상의 2차 광원으로 된다. 또한, V홈 액시콘(10)의 간격이 0인 상태에 있어서, 아포컬 줌 렌즈(5)의 배율을 변화시키거나 또는 줌 렌즈(7)의 초점 거리를 변화시키면, 원형상의 2차 광원의 전체가 상사적으로 확대 또는 축소된다. 즉, 원형상의 2차 광원의 외부 직경(크기)이 확대 또는 축소된다.

이상과 같이, 실시예 1에서는, V홈 액시콘(10)의 간격을 변화시키는 것에 의해, 2차 광원의 전체 크기가 X 방향으로 변화하지 않고 Z 방향으로 변화된다. 그 결과, 마스크 M상의 직교하는 2 방향(X 방향 및 Y 방향)에서 서로 다른 조명 조건을 실현할 수 있고, 나아가서는 패턴에 방향성이 있는 마스크 M상의 직교하는 2 방향에서 최적의 조명 조건을 설정할 수 있다.

또, 상술한 설명에서는, 도 6의 (a)에 도시하는 바와 같이, V자 형상의 오목 형상 단면을 갖는 제 1 프리즘과 V자 형상의 볼록 형상 단면을 갖는 제 2 프리즘으로 V홈 액시콘(10)을 구성하고 있다. 그러나, 이에 한정되는 것은 아니고, 도 6의 (b)에 도시하는 바와 같이, V자 형상의 오목 형상 단면 및 볼록 형상 단면의 정점 근방을 광축 AX와 수직인 평면 형상으로 형성할 수도 있다. 또한, 고리띠 조명 또는 원형 조명에 있어서 외형이 비교적 원활한 타원 고리 형상의 2차 광원 또는 타원 형상의 2차 광원을 얻기 위해서는, 도 6의 (c)에 도시하는 바와 같이, V자 형상의 오목 형상 단면 및 볼록 형상 단면의 정점 근방을 원통 형상으로 형성하는 것이 바람직하다.

또한, 상술한 설명에서는, V홈 액시콘(10)의 간격을 변화시키는 것에 의해, 2차 광원의 전체 크기를 X 방향으로 변화시키지 않고 Z 방향으로 변화시키고 있다. 그러나, 도 7의 (a)에 도시하는 바와 같이, V홈 액시콘(10)을 광축 AX를 중심으로 하여 회전 가능하게 구성하는 것에 의해, 2차 광원의 전체 크기를 소망하는 방향(예를 들면, X 방향 등)으로 변화시킬 수도 있다.

또한, 도 7의 (b)에 도시하는 바와 같이, 작용 방향이 서로 직교하는 2 세트의 V홈 액시콘을 배치하는 것에 의해, 2차 광원의 전체 크기를 X 방향 및 Z 방향으로 각각 독립적으로 변화시킬 수 있다. 이 경우, 2 세트의 V홈 액시콘을 일체적으로 또는 독립적으로 광축 AX를 중심으로 하여 회전 가능하게 구성함으로써, 2차 광원의 전체 크기를 임의의 직교하는 2 방향 또는 임의의 2 방향으로 각각 독립적으로 변화시킬 수도 있다.

또, 상술한 실시예 1에 있어서는, 광속 변환 소자로서의 회절 광학 소자(4, 4a 및 4b)를, 예를 들면 터릿 방식으로 또는 공지(公知)의 슬라이더 기구를 이용하여 조명 광로중에 위치 결정하도록 구성할 수 있다.

또한, 상술한 실시예 1에서는, 마이크로 플라이 아이(6)를 구성하는 미소 렌즈의 형상을 정육각형으로 설정하고 있다. 이것은, 원형상의 미소 렌즈에서는 조밀하게 배열할 수 없어 광량 손실이 발생하므로, 원형에 가까운 다각형으로서 정육각형을 선정하고 있기 때문이다. 그러나, 마이크로 플라이 아이(6)를 구성하는 각 미소 렌즈의 형상은 이것에 한정되는 것은 아니고, 예를 들면 직사각형 형상을 포함하는 다른 적당한 형상을 이용할 수 있다.

또한, 상술한 실시예 1에서는, 통상의 원형 조명을 실행할 때에 회절 광학 소자(4b)를 조명 광로중에 위치 결정하고 있지만, 이 회절 광학 소자(4b)의 사용을 생략할 수도 있다. 또한, 상술한 실시예 1에서는, 광속 변환 소자로서 회절 광학 소자를 이용하고 있지만, 이것에 한정되는 것은 아니고, 예를 들면 마이크로 플라이 아이나 미소 프리즘 어레이 등을 이용할 수도 있다. 그런데, 본 발명에서 이용할 수 있는 회절 광학 소자에 관한 상세한 설명은, 미국 특허 제 5,850,300 호 공보 등에 개시되어 있다.

또한, 상술한 실시예 1에 있어서는, 2차 광원으로부터의 광을 콘덴서 광학계(9)에 의해서 집광하여 증첩적으로 마스크 M을 조명하는 구성으로 하고 있지만, 콘덴서 광학계(9)와 마스크 M 사이에 조명 시야 조리개(마스크 블라인드)와, 이 조명 시야 조리개의 상을 마스크 M상에 형성하는 릴레이 광학계를 배치해도 된다. 이 경우, 콘덴서 광학계(9)는 2차 광원으로부터의 광을 집광하여 증첩적으로 조명 시야 조리개를 조명하게 되고, 릴레이 광학계는 조명 시야 조리개의 개구부(광투과부)의 상을 마스크 M상에 형성하게 된다.

또한, 상술한 실시예 1에 있어서는, 플라이 아이 렌즈(8)를 복수의 요소 렌즈를 집적하여 형성하고 있지만, 이들을 마이크로 플라이 아이로 하는 것도 가능하다. 마이크로 플라이 아이는, 상술한 바와 같이, 광투과성 기판에 에칭 등의 방법에 의해 복수의 미소 렌즈면을 매트릭스 형상으로 마련한 것이다. 복수의 광원 상을 형성한다는 점에 관하여, 플라이 아이 렌즈와 마이크로 플라이 아이 간에 기능상의 차이는 실질적으로는 없지만, 하나의 요소 렌즈(미소 렌즈)의 개구의 크기를 극히 작게 할 수 있는 것, 제조 비용을 대폭으로 삭감할 수 있는 것, 광축 방향의 두께를 매우 얇게 할 수 있는 것 등의 점에서 마이크로 플라이 아이가 유리하다.

## (실시예 2)

도 10은 본 발명의 실시예 2에 따른 조명 광학 장치를 구비한 노광 장치의 구성을 개략적으로 도시하는 도면이다. 실시예 2는 실시예 1과 유사한 구성을 갖지만, 절곡 미러(3)와 줌 렌즈(7) 사이의 구성, 플라이 아이 렌즈(8) 대신에 마이크로 플라이 아이(마이크로 렌즈 어레이)(8a)가 이용되고 있는 것, 및 콘덴서 광학계(9)와 마스크 M 사이의 구성이 실시예 1과 기본적으로 상위(相違)하다. 이하, 실시예 1과의 상위점에 주목하여, 실시예 2를 설명한다. 또, 도 10에서는 조명 광학 장치가 4극 조명을 행하도록 설정되어 있다.

실시예 2에서는, 광원(1)으로부터 사출된 거의 평행한 광속이 빔 익스팬더(2) 및 절곡 미러(3)를 거쳐서 4극 조명용의 회절 광학 소자(11a)에 입사한다. 회절 광학 소자(11a)는 직사각형 형상의 단면을 갖는 평행 광속이 입사한 경우, 그 퍼필드(프라운호퍼(Fraunhofer) 회절 영역)에 있어서 4극 형상의 광 강도 분포를 형성하는 기능을 갖는다. 4극 조명용의 회절 광학 소자(11a)는 조명 광로에 대하여 삽입 및 분리가 자유롭게 구성되고, 고리띠 조명용의 회절 광학 소자(11b)나 원형 조명용의 회절 광학 소자(11c)와 전환 가능하게 구성되어 있다.

구체적으로는, 회절 광학 소자(11a)는 광축 AX와 평행한 소정의 축선 주위에 회전 가능한 터릿 기판(회전판 : 도 10에서는 도시하지 않음)상에 지지되어 있다. 터릿 기판에는 특성이 다른 복수의 4극 조명용의 회절 광학 소자(11a), 특성이 다른 복수의 고리띠 조명용의 회절 광학 소자(11b), 및 특성이 다른 복수의 원형 조명용의 회절 광학 소자(11c)가 원주 방향을 따라 마련되어 있다. 또한, 터릿 기판은 그의 중심점을 통과하여 광축 AX에 평행한 축선 주위에 회전 가능하게 구성되어 있다.

따라서, 터릿 기판을 회전시키는 것에 의해, 다수의 회절 광학 소자(11a~11c)로부터 선택된 소망하는 회절 광학 소자를 조명 광로중에 위치 결정할 수 있다. 또, 터릿 기판의 회전(나아가서는 회절 광학 소자(11a, 11b 및 11c) 사이의 전환)은 제어계(21)로부터의 지령에 근거하여 동작하는 구동계(26)에 의해 행하여진다. 단, 터릿 방식에 한정되는 것은 아니고, 예를 들면 주지의 슬라이드 방식에 의해 회절 광학 소자(11a, 11b 및 11c) 사이의 전환을 실행할 수도 있다.

광 형상 변환 수단으로서의 회절 광학 소자(11a)를 거친 광속은 아포컬 렌즈(릴레이 광학계)(12)에 입사한다. 아포컬 렌즈(12)는 그 앞측 초점 위치와 회절 광학 소자(11a)의 위치가 거의 일치하고 또한 그 뒤측 초점 위치와 도면중 점선으로 나타내는 소정면(13)의 위치가 거의 일치하도록 설정된 아포컬계(무초점 광학계)이다. 여기서, 소정면(13)의 위치는 실시예 1에서 마이크로 플라이 아이(6)가 설치되어 있는 위치에 대응하고 있다.

따라서, 회절 광학 소자(11a)에 입사한 거의 평행한 광속은 아포컬 렌즈(12)의 동공면에 4극 형상의 광 강도 분포를 형성한 후, 거의 평행한 광속으로 되어 아포컬 렌즈(12)로부터 사출된다. 또, 아포컬 렌즈(12)의 앞측 렌즈군(12a)과 뒤측 렌즈군(12b) 사이의 광로중에는 광원측으로부터 순서대로 원추 액시콘(14), 제 1 V홈 액시콘(15), 및 제 2 V홈 액시콘(16)이 배치되어 있지만, 그 상세한 구성 및 작용에 대해서는 후술한다. 이하, 설명을 간단히 하기 위해서, 이들 액시콘(4~16)의 작용을 무시하고, 실시예 2의 기본적인 구성 및 작용을 설명한다.

아포컬 렌즈(12)를 거친 광속은  $\sigma$  값 가변용의 줌 렌즈(변배 광학계)(7)를 거쳐서, 광학 적분기로서의 마이크로 플라이 아이(8a)에 입사한다. 또,  $\sigma$  값이란, 투영 광학계 PL의 동공의 크기(직경)를 R1로 하고, 투영 광학계 PL의 동공에 형성되는 조명 광속 또는 광원 상의 크기(직경)를 R2로 하고, 투영 광학계 PL의 마스크(레티클) M측의 개구수를 NAo로 하고, 마스크(레티클) M을 조명하는 조명 광학계의 개구수를 NAI라고 할 때,  $\sigma = NAI/NAo = R2/R1$ 로서 정의된다. 단, 고리띠 조명의 경우, R2는 투영 광학계 PL의 동공에 형성되는 고리띠 형상의 조명 광속 또는 고리띠 형상의 광원 상의 외부 직경이며, NAI는 조명 광학계의 동공에 형성되는 고리띠 광속의 외부 직경에 의해서 정해지는 개구수이다. 또한, 4극 조명 등의 다극 조명의 경우, R2는 투영 광학계 PL의 동공에 형성되는 다극 형상의 조명 광속 또는 다극 형상의 광원 상에 외접하는 원의 크기 또는 직경이며, NAI는 조명 광학계의 동공에 형성되는 다극 형상의 조명 광속에 외접하는 원의 크기 또는 직경에 의해서 정해지는 개구수이다. 또한, 고리띠 조명의 경우, 고리띠비율, 고리띠 형상의 조명 광속의 외부 직경을 Ro, 고리띠 형상의 조명 광속의 내부 직경을 Ri라고 할 때, Ri/Ro로 정의된다.

또, 소정면(13)의 위치는 줌 렌즈(7)의 앞측 초점 위치 근방에 배치되고, 마이크로 플라이 아이(8a)의 입사면은 줌 렌즈(7)의 뒤측 초점 위치 근방에 배치되어 있다. 바꿔 말하면, 줌 렌즈(7)는 소정면(13)과 마이크로 플라이 아이(8a)의 입사면을 실질적으로 푸리에 변환의 관계로 배치하고, 나아가서는 아포컬 렌즈(12)의 동공면과 마이크로 플라이 아이(8a)의 입사면을 광학적으로 거의 공역으로 배치하고 있다. 따라서, 실시예 1에 있어서의 플라이 아이 렌즈(8)와 마찬가지로의 기능을 갖는 마이크로 플라이 아이(8a)의 입사면상에는, 아포컬 렌즈(12)의 동공면과 마찬가지로, 예를 들면 광축 AX에 대하여 편심된 4개의 조야로 이루어지는 4극 형상의 조야를 형성한다. 여기서, 4극 형상의 조야를 구성하는 각 조야의 형상은 회절 광학 소자(11a)의 특성에 의존하지만, 여기서는 4개의 원 형상의 조야로 이루어지는 4극 형상의 조야가 형성되는 것으로 한다. 이 4극 형상의 조야의 전체 형상은 줌 렌즈(7)의 초점 거리에 의존하여 상사적으로 변화된다.

마이크로 플라이 아이(8a)를 구성하는 각 미소 렌즈는 마스크 M상에서 형성해야 할 조야의 형상(나아가서는 웨이퍼 W상에서 형성해야 할 노광 영역의 형상)과 상사인 직사각형 형상의 단면을 갖는다. 마이크로 플라이 아이(8a)에 입사된 광속은 다수의 미소 렌즈에 의해 2차원적으로 분할되고, 그 뒤측 초점면(나아가서는 조명 광학계의 동공)에는 마이크로 플라이 아이(8a)로의 입사 광속에 의해서 형성되는 조야와 거의 동일한 광 강도 분포를 갖는 2차 광원, 즉 광축 AX에 대하여 편심된 4개의 원 형상의 실질적인 면 광원으로 이루어지는 4극 형상의 2차 광원이 형성된다.

마이크로 플라이 아이(8a)의 뒤측 초점면에 형성된 4극 형상의 2차 광원으로부터의 광속은 콘덴서 광학계(9)의 집광 작용을 받은 후, 조명 시야 조리개로서의 마스크 블라인드(17)를 중첩적으로 조명한다. 마스크 블라인드(17)의 직사 각형 형상의 개구부(광투과부)를 거친 광속은 결상 광학계(18)의 집광 작용을 받은 후, 마스크 M을 중첩적으로 조명한다. 마스크 M의 패턴을 투과한 광속은 투영 광학계 PL을 거쳐서 웨이퍼 W상에 마스크 패턴의 상을 형성한다. 투영 광학계 PL의 입사 동공면에는 투영 광학계 PL의 개구수를 규정하기 위한 가변 개구 조리개가 마련되고, 이 가변 개구 조리개의 구동은 제어계(21)로부터의 지령에 근거하여 동작하는 구동계(27)에 의해 실행된다.

도 11은 실시예 2에 있어서 아포컬 렌즈의 앞측 렌즈군과 뒤측 렌즈군 사이의 광로중에 배치된 3개의 액시콘계(이하, 단지 「액시콘」이라 함)의 구성을 개략적으로 도시하는 사시도이다. 실시예 2에서는, 도 11에 도시하는 바와 같이, 아포컬 렌즈(12)의 앞측 렌즈군(12a)과 뒤측 렌즈군(12b) 사이의 광로중에, 광원측으로부터 순서대로 원추 액시콘(14), 제 1 V홈 액시콘(15) 및 제 2 V홈 액시콘(16)이 배치되어 있다.

원추 액시콘(14)은 광원측으로부터 순서대로 광원측으로 평면을 향하게 하고 또한 마스크측으로 오목 원추 형상의 굴절면을 향하게 한 제 1 프리즘 부재(14a)와, 마스크측으로 평면을 향하게 하고 또한 광원측으로 볼록 원추 형상의 굴절면을 향하게 한 제 2 프리즘 부재(14b)로 구성되어 있다. 그리고, 제 1 프리즘 부재(14a)의 오목 원추 형상의 굴절면과 제 2 프리즘 부재(14b)의 볼록 원추 형상의 굴절면은 서로 접촉 가능하도록 상보적으로 형성되어 있다.

또한, 제 1 프리즘 부재(14a) 및 제 2 프리즘 부재(14b)중 적어도 한쪽의 부재가 광축 AX을 따라 이동 가능하게 구성되고, 제 1 프리즘 부재(14a)의 오목 원추 형상의 굴절면과 제 2 프리즘 부재(14b)의 볼록 원추 형상의 굴절면의 간격이 가변으로 구성되어 있다. 원추 액시콘(14)의 간격의 변화는 제어계(21)로부터의 지령에 근거하여 동작하는 구동계(28a)에 의해 실행된다.

여기서, 제 1 프리즘 부재(14a)의 오목 원추 형상 굴절면과 제 2 프리즘 부재(14b)의 볼록 원추 형상 굴절면이 서로 접촉하고 있는 상태에서는, 원추 액시콘(14)은 평행 평면판으로서 기능하며, 형성되는 4극 형상의 2차 광원에 미치는 영향은 없다. 그러나, 제 1 프리즘 부재(14a)의 오목 원추 형상 굴절면과 제 2 프리즘 부재(14b)의 볼록 원추 형상 굴절면을 이격시키면, 원추 액시콘(14)은, 소위 빔 익스팬더로서 기능한다. 따라서, 원추 액시콘(14)의 간격의 변화에 따라 소정면(13)으로의 입사 광속의 각도는 변화된다.

또한, 제 1 V홈 액시콘(15)은 광원측으로 평면을 향하게 하고 또한 마스크측으로 오목 형상이고 V자 형상의 굴절면을 향하게 한 제 1 프리즘 부재(15a)와, 마스크측으로 평면을 향하게 하고 또한 광원측으로 볼록 형상이고 V자 형상의 굴절면을 향하게 한 제 2 프리즘 부재(15b)로 구성되어 있다. 제 1 프리즘 부재(15a)의 오목 형상 굴절면은 2개의 평면으로 구성되고, 그 교차선은 Z 방향을 따라 연장되어 있다. 제 2 프리즘 부재(15b)의 볼록 형상 굴절면은 제 1 프리즘 부재(15a)의 오목 형상 굴절면과 서로 접촉 가능하도록, 바꿔 말하면 제 1 프리즘 부재(15a)의 오목 형상 굴절면과 상보적으로 형성되어 있다.

즉, 제 2 프리즘 부재(15b)의 볼록 형상 굴절면도 2개의 평면으로 구성되고, 그 교차선은 Z 방향을 따라 연장되어 있다. 또한, 제 1 프리즘 부재(15a) 및 제 2 프리즘 부재(15b)중 적어도 한쪽이 광축 AX를 따라 이동 가능하게 구성되고, 제 1 프리즘 부재(15a)의 오목 형상 굴절면과 제 2 프리즘 부재(15b)의 볼록 형상 굴절면의 간격이 가변으로 구성되어 있다. 제 1 V홈 액시콘(15)의 간격의 변화는 제어계(21)로부터의 지령에 근거하여 동작하는 구동계(28b)에 의해 실행된다.

또한, 제 2 V홈 액시콘(16)은 광원측으로 평면을 향하게 하고 또한 마스크측으로 오목 형상이고 V자 형상의 굴절면을 향하게 한 제 1 프리즘 부재(16a)와, 마스크측으로 평면을 향하게 하고 또한 광원측으로 볼록 형상이고 V자 형상의 굴절면을 향하게 한 제 2 프리즘 부재(16b)로 구성되어 있다. 제 1 프리즘 부재(16a)의 오목 형상 굴절면은 2개의 평면으로 구성되고, 그 교차선은 X 방향을 따라 연장되어 있다. 제 2 프리즘 부재(16b)의 볼록 형상 굴절면은 제 1 프리즘 부재(16a)의 오목 형상 굴절면과 상보적으로 형성되어 있다. 즉, 제 2 프리즘 부재(16b)의 볼록 형상 굴절면도 2개의 평면으로 구성되고, 그 교차선은 X 방향을 따라 연장되어 있다.

또한, 제 1 프리즘 부재(16a) 및 제 2 프리즘 부재(16b)중 적어도 한쪽이 광축 AX를 따라 이동 가능하게 구성되고, 제 1 프리즘 부재(16a)의 오목 형상 굴절면과 제 2 프리즘 부재(16b)의 볼록 형상 굴절면의 간격이 가변으로 구성되어 있다. 제 2 V홈 액시콘(16)의 간격의 변화는 제어계(21)로부터의 지령에 근거하여 동작하는 구동계(28c)에 의해 실행된다.

여기서, 대향하는 오목 형상 굴절면과 볼록 형상 굴절면이 서로 접촉하고 있는 상태에서는 제 1 V홈 액시콘(15) 및 제 2 V홈 액시콘(16)은 평행 평면판으로서 기능하며, 형성되는 4극 형상의 2차 광원에 미치는 영향은 없다. 그러나, 제 1 V홈 액시콘(15)은 오목 형상 굴절면과 볼록 형상 굴절면을 이격시키면, Z 방향을 따라 평행 평면판으로서 기능하지만, X 방향을 따라 빔 익스팬더로서 기능한다. 또한, 제 2 V홈 액시콘(16)은 오목 형상 굴절면과 볼록 형상 굴절면을 이격시키면, X 방향을 따라 평행 평면판으로서 기능하지만, Z 방향을 따라 빔 익스팬더로서 기능한다.

도 12는 실시예 2의 4극 조명에 있어서 형성되는 2차 광원에 대한 원추 액시콘의 작용을 설명하는 도면이다. 실시예 2의 4극 조명에서는 원추 액시콘(14)의 간격을 0으로부터 소정의 값까지 확대시키는 것에 의해, 4극 형상의 2차 광원을 구성하는 원 형상의 각 면 광원(40a~40d)이 광축 AX를 중심으로 한 원의 직경 방향을 따라 바깥쪽으로 이동하고, 또한 그 형상이 원 형상으로부터 타원 형상으로 변화된다. 즉, 변화 전의 원 형상의 각 면 광원(40a~40d)의 중심점과 변화 후의 타원 형상의 각 면 광원(41a~41d)의 중심점을 연결하는 선분은 광축 AX를 통과하고, 중심점의 이동 거리는 원추 액시콘(14)의 간격에 의존한다.

또한, 변화 전의 원 형상의 각 면 광원(40a~40d)을 광축 AX로부터 예측한 각도(광축 AX로부터 각 면 광원(40a~40d)으로의 한 쌍의 접선이 이루는 각도)와, 변화 후의 타원 형상의 각 면 광원(41a~41d)을 광축 AX로부터 예측한 각도가 동등하다. 그리고, 변화 전의 원 형상의 각 면 광원(40a~40d)의 직경과 변화 후의 타원 형상의 각 면 광원(41a~41d)의 광축 AX를 중심으로 한 원의 직경 방향에 따른 짧은 직경이 동등하다. 또, 변화 후의 타원 형상의 각 면 광원(41a~41d)의 광축 AX를 중심으로 한 원의 둘레 방향에 따른 긴 직경의 크기는 변화 전의 원 형상의 각 면 광원(40a~40d)의 직경과 원추 액시콘(14)의 간격에 의존한다.

따라서, 원추 액시콘(14)의 간격을 0으로부터 소정의 값까지 확대시키면, 4개의 원 형상의 면 광원으로 구성되는 4극 형상의 2차 광원이 4개의 타원 형상의 면 광원으로 구성되는 4극 형상의 2차 광원으로 변화하여, 변화 전의 2차 광원의 폭을 변화시키지 않고 그 외부 직경 및 고리띠비를 변경할 수 있다. 여기서, 4극 형상의 2차 광원의 폭은 4개의 면 광원과 외접하는 원의 직경, 즉 외부 직경과, 4개의 면 광원과 내접하는 원의 직경, 즉 내부 직경과의 차의 1/2로서 규정된다. 또한, 4극 형상의 2차 광원의 고리띠비는 외부 직경에 대한 내부 직경의 비(내부 직경/외부 직경)로서 규정된다.



도 13은 실시예 2의 4극 조명에 있어서 형성되는 2차 광원에 대한 줌 렌즈의 작용을 설명하는 도면이다. 실시예 2의 4극 조명에서는, 줌 렌즈(7)의 초점 거리가 변화되면, 4개의 원 형상의 면 광원(42a~42d)으로 구성되는 4극 형상의 2차 광원의 전체 형상이 상사적으로 변화된다. 즉, 4극 형상의 2차 광원을 구성하는 원 형상의 각 면 광원(42a~42d)이 원 형상을 유지한 채 광축 AX를 중심으로 한 원의 직경 방향을 따라 이동한다.

그리고, 변화 전의 각 면 광원(42a~42d)의 중심점과 변화 후의 각 면 광원(43a~43d)의 중심점을 연결하는 선분은 광축 AX를 통과하고, 중심점의 이동 거리 및 이동 방향은 줌 렌즈(7)의 초점 거리의 변화에 의존한다. 또한, 변화 전의 각 면 광원(42a~42d)을 광축 AX로부터 예측한 각도와, 변화 후의 각 면 광원(43a~43d)을 광축 AX로부터 예측한 각도가 동등하다. 이렇게 해서, 줌 렌즈(7)의 초점 거리를 변화시키는 것에 의해, 4극 형상의 2차 광원의 고리따비를 변화시키지 않고 그 외부 직경만을 변경할 수 있다.

도 14는 실시예 2의 4극 조명에 있어서 형성되는 2차 광원에 대한 제 1 V홀 액시콘 및 제 2 V홀 액시콘의 작용을 설명하는 도면이다. 제 1 V홀 액시콘(15)의 간격의 변화에 따라 소정면(13)으로의 입사 광속의 Z 방향에 따른 입사 각도는 변화하지 않지만, 소정면(13)으로의 입사 광속의 X 방향에 따른 입사 각도는 변화된다. 그 결과, 도 14의 (a)에 도시하는 바와 같이, 4개의 원 형상의 면 광원(44a~44d)은 Z 방향으로 이동하지 않지만, 그 형상 및 크기를 유지한 채로 X 방향으로 이동한다. 즉, 제 1 V홀 액시콘(15)의 간격이 0으로부터 소정의 값까지 확대되면, 면 광원(44b 및 44c)은 -X 방향으로 이동하고, 면 광원(44a 및 44d)은 +X 방향으로 이동한다.

한편, 제 2 V홀 액시콘(16)의 간격의 변화에 따라 소정면(13)으로의 입사 광속의 X 방향에 따른 입사 각도는 변화되지 않지만, 소정면(13)으로의 입사 광속의 Z 방향에 따른 입사 각도는 변화된다. 그 결과, 도 14의 (b)에 도시하는 바와 같이, 4개의 원 형상의 면 광원(44a~44d)은 X 방향으로 이동하지 않지만, 그 형상 및 크기를 유지한 채 Z 방향으로 이동한다. 즉, 제 2 V홀 액시콘(16)의 간격이 0으로부터 소정의 값까지 확대되면, 면 광원(44a 및 44b)은 +Z 방향으로 이동하고, 면 광원(44c 및 44d)은 -Z 방향으로 이동한다.

또, 제 1 V홀 액시콘(15)의 간격 및 제 2 V홀 액시콘(16)의 간격이 모두 변화하면, 소정면(13)으로의 입사 광속의 X 방향에 따른 입사 각도 및 Z 방향에 따른 입사 각도는 모두 변화한다. 그 결과, 도 14의 (c)에 도시하는 바와 같이, 각 면 광원(44a~44d)은 그 형상 및 크기를 유지한 채 Z 방향 및 X 방향으로 이동한다. 즉, 제 1 V홀 액시콘(15)의 간격 및 제 2 V홀 액시콘(16)의 간격이 모두 0으로부터 소정의 값까지 확대되면, 면 광원(44a)은 +Z 방향 및 +X 방향으로 이동하고, 면 광원(44b)은 +Z 방향 및 -X 방향으로 이동하고, 면 광원(44c)은 -Z 방향 및 -X 방향으로 이동하며, 면 광원(44d)은 -Z 방향 및 +X 방향으로 이동한다.

이상과 같이, 원추 액시콘(14)은 조명 광학계의 동공(마이크로 플라이 아이(8a)의 뒤측 초점면)에서의 조명광의 고리따비를 가변으로 하는 고리따비 가변 수단을 구성하고 있다. 줌 렌즈(7)는 조명 광학계의 동공에서의 조명광의 크기를 가변으로 하는 변배 광학계를 구성하고 있다. 제 1 V홀 액시콘(15)은 조명 광학계의 동공에 있어서 X 방향을 따라 광축 AX를 사이에 두고 대칭으로 조명광을 변위시키는 제 1 변위 수단을 구성하고 있다. 제 2 V홀 액시콘(16)은 조명 광학계의 동공에 있어서 Z 방향을 따라 광축 AX를 사이에 두고 대칭으로 조명광을 변위시키는 제 2 변위 수단을 구성하고 있다. 그리고, 원추 액시콘(14), 제 1 V홀 액시콘(15), 제 2 V홀 액시콘(16) 및 줌 렌즈(7)는 조명 광학계의 동공에서의 조명광의 크기 및 형상을 가변으로 하는 가변 수단을 구성하고 있다.

도 15는 실시예 2의 4극 조명에 있어서 형성되는 원 형상의 각 면 광원에 대한 원추 액시콘, 줌 렌즈, 제 1 V홈 액시콘 및 제 2 V홈 액시콘의 작용을 설명하는 도면이다. 도 15에서는, 원추 액시콘(14), 제 1 V홈 액시콘(15) 및 제 2 V홈 액시콘(16)의 간격이 모두 0이고 또한 줌 렌즈(7)의 초점 거리가 최소값으로 설정된 상태(이하, 「표준 상태」라고 함)에서 형성되는 가장 작은 4극 형상의 2차 광원을 구성하는 4개의 원 형상의 면 광원중 하나인 면 광원(45a)에 주목하고 있다.

이 표준 상태에서, 제 1 V홈 액시콘(15)의 간격을 0으로부터 소정의 값까지 확대시키면, 면 광원(45a)은 그 형상 및 크기를 유지한 채 X 방향을 따라 이동하여, 참조 부호(45b)로 나타내는 위치에 도달한다. 다음에, 제 2 V홈 액시콘(16)의 간격을 0으로부터 소정의 값까지 확대시키면, 면 광원(45b)은 그 형상 및 크기를 유지한 채 Z 방향을 따라 이동하여, 참조 부호(45c)로 나타내는 위치에 도달한다.

또한, 줌 렌즈(7)의 초점 거리를 최소값으로부터 소정의 값까지 확대시키면, 원 형상의 면 광원(45c)은 그 원 형상을 유지한 채 확대되고, 또한 광축 AX를 중심으로 한 원의 직경 방향을 따라 바깥쪽으로 이동하여, 참조 부호(45d)로 나타내는 위치에 도달한다. 또한, 필요에 따라 원추 액시콘(14)의 간격을 0으로부터 소정의 값까지 확대시키면, 원 형상의 면 광원(45d)은 원 형상에서 확대된 타원 형상으로 변화되고 또한 광축 AX를 중심으로 한 원의 직경 방향을 따라 바깥쪽으로 이동하여, 참조 부호(45e)로 나타내는 위치에 도달한다.

또, 제 2 V홈 액시콘(16)의 간격을 0으로부터 소정의 값까지 확대시킨 후에 제 1 V홈 액시콘(15)의 간격을 0으로부터 소정의 값까지 확대시키더라도, 면 광원(45a)은 그 형상 및 크기를 유지한 채 참조 부호(45c)로 나타내는 위치에 도달한다. 마찬가지로, 최종적으로 얻어지는 면 광원의 위치, 형상 및 크기는 원추 액시콘(14), 제 1 V홈 액시콘(15) 및 제 2 V홈 액시콘(16)의 간격의 변화, 및 줌 렌즈(7)의 초점 거리의 변화에 의존하며, 그 변화의 순서에는 의존하지 않는다.

이렇게 해서, 원추 액시콘(14), 제 1 V홈 액시콘(15), 제 2 V홈 액시콘(16) 및 줌 렌즈(7)의 작용에 의해, 4극 형상의 2차 광원을 구성하는 각 면 광원의 위치를 광범위에 걸쳐 이동시킬 수 있고, 또한 그 형상 및 크기를 소정의 범위에 걸쳐 변화시킬 수 있다. 그러나, 실제로는 원추 액시콘(14)이나 제 1 V홈 액시콘(15)이나 제 2 V홈 액시콘(16)에 의한 각 면 광원의 이동 비율(즉, 이동처의 면 광원의 좌표 위치에 대한 이동원의 면 광원의 좌표 위치)에는 광학 설계상의 제약이 있어, 각 면 광원의 이동 범위에는 제한이 있다.

그래서, 실시예 2에서는 4극 조명용의 회절 광학 소자(11a)로서, 특성이 다른 3 종류의 회절 광학 소자를 구비하고 있다. 도 16은 실시예 2에 있어서 특성이 다른 3 종류의 4극 조명용 회절 광학 소자를 거쳐서 형성되는 각 면 광원 및 그 이동 범위에 대하여 설명하는 도면이다. 도 16에 있어서도 도 15와 마찬가지로, 표준 상태에서 형성되는 가장 작은 4극 형상의 2차 광원을 구성하는 4개의 원 형상의 면 광원중 하나인 면 광원(46)에 주목하고 있다.

실시예 2에서는, 제 1의 4극 조명용 회절 광학 소자에 의해, 4개의 면 광원의 중심점을 연결하여 형성되는 사각형이 X 방향을 따라 가늘고 긴 직사각형으로 되는 4극 형상의 2차 광원, 즉 도 14의 (a)의 우측에 나타내는 바와 같은 4극 형상의 2차 광원이 형성된다. 제 1의 4극 조명용 회절 광학 소자를 거쳐서 형성된 4극 형상의 2차 광원을 구성하는 4개의 원 형상의 면 광원중 하나인 면 광원(46a)은 제 1 V홈 액시콘(15) 및 제 2 V홈 액시콘(16)의 작용에 의해, 참조 부호(47a)로 나타내는 직사각형 형상의 범위내에서 이동한다.

한편, 제 2의 4극 조명용 회절 광학 소자에 의해, 4개의 면 광원의 중심점을 연결하여 형성되는 사각형이 Z 방향을 따라 가늘고 긴 직사각형으로 되는 4극 형상의 2차 광원, 즉 도 14의 (b)의 우측에 나타내는 바와 같은 4극 형상의 2차 광원이 형성된다. 제 2의 4극 조명용 회절 광학 소자를 거쳐서 형성된 4극 형상의 2차 광원을 구성하는 4개의 원 형상의 면 광원중 하나인 면 광원(46b)은 제 1 V홈 액시콘(15) 및 제 2 V홈 액시콘(16)의 작용에 의해, 참조 부호(47b)로 나타내는 직사각형 형상의 범위내에서 이동한다.

또한, 제 3의 4극 조명용 회절 광학 소자에 의해, 4개의 면 광원의 중심점을 연결하여 형성되는 사각형이 정방형으로 되는 4극 형상의 2차 광원, 즉 도 14의 (c)의 우측(또는 도 14의 (a)~(c)의 좌측)에 나타내는 바와 같은 4극 형상의 2차 광원이 형성된다. 제 3의 4극 조명용 회절 광학 소자를 거쳐서 형성된 4극 형상의 2차 광원을 구성하는 4개의 원 형상의 면 광원중 하나인 면 광원(46c)은 제 1 V홈 액시콘(15) 및 제 2 V홈 액시콘(16)의 작용에 의해, 참조 부호(47c)로 나타내는 직사각형 형상의 범위내에서 이동한다.

이렇게 해서, 실시예 2에서는, 제 1 V홈 액시콘(15)이나 제 2 V홈 액시콘(16)에 의한 각 면 광원의 이동 비율(나아가서는 그 이동 범위)이 광학 설계의 관점에서 어느 정도 제한되는 경우에도, 특성이 다른 3 종류의 4극 조명용 회절 광학 소자를 병용하는 것에 의해, 광축 AX를 중심으로 하는 둥근 고리 형상의 영역에 있어서 각 면 광원의 위치를 자유롭게 이동시킬 수 있다. 또, 도 16에서는 도시를 생략했지만, 원추 액시콘(14) 및 줌 렌즈(7)의 작용에 의해, 광축 AX를 중심으로 하는 둥근 고리 형상의 영역에 있어서 각 면 광원의 위치, 형상 및 크기를 소망하는 상태로 적절히 변경할 수도 있다.

또한, 실시예 2의 변형예 1에서는 4극 조명용의 회절 광학 소자(11a)로서, 특성이 다른 4 종류의 회절 광학 소자를 구비하고 있다. 도 17 및 도 18은 실시예 2의 변형예 1에 있어서 특성이 다른 4 종류의 4극 조명용 회절 광학 소자를 거쳐서 형성되는 각 면 광원, 및 그 이동 및 변형에 대하여 설명하는 도면이다. 도 17 및 도 18에 있어서도 도 15 및 도 16과 마찬가지로, 표준 상태에서 형성되는 가장 작은 4극 형상의 2차 광원을 구성하는 4개의 원 형상의 면 광원중 하나인 면 광원(48)에 주목하고 있다.

실시예 2의 변형예 1에서는, 도 17 및 도 18에 도시하는 바와 같이, 광축 AX를 중심으로 한 원, X축에 평행한 선분 및 Z축에 평행한 선분으로 규정되는 원의 1/4 영역이 광축 AX를 통과하는 3개의 선분에 의해서 4개의 부채형 영역으로 분할되고, 4 종류의 4극 조명용 회절 광학 소자에 의해서 각각 형성되는 원 형상의 각 면 광원(48a~48d)의 중심이 각 부채형 영역내에 위치하도록 설정되어 있다. 즉, 제 1 회절 광학 소자에 의해 면 광원(48a)이 형성되고, 제 2 회절 광학 소자에 의해 면 광원(48b)이 형성되고, 제 3 회절 광학 소자에 의해 면 광원(48c)이 형성되며, 제 4 회절 광학 소자에 의해 면 광원(48d)이 형성되도록 설정되어 있다.

이하, 설명을 간단히 하기 위해, 원의 1/4 영역이 4개의 부채형 영역으로 등분할되고, 각 면 광원(48a~48d)이 서로 접하도록 광축 AX를 중심으로 한 원의 둘레 방향을 따라 배치되어 있는 것으로 한다. 이 경우, 원추 액시콘(14)의 간격을 0로부터 소정의 값까지 확대시키면, 도 17에 도시하는 바와 같이, 각 면 광원(48a~48d)은 그 형상이 원 형상에서 확대된 타원 형상으로 변화되고 또한 그의 중심 위치가 광축 AX를 중심으로 한 원의 직경 방향을 따라 바깥쪽으로 이동하여, 각각 참조 부호(49a~49d)로 나타내는 위치에 도달한다.

또한, 줌 렌즈(7)의 초점 거리를 최소값으로부터 소정의 값까지 확대시키면, 도 18에 도시하는 바와 같이, 각 면 광원(48a~48d)은 그 원 형상을 유지한 채 확대되고, 또한 그의 중심 위치가 광축 AX를 중심으로 한 원의 직경 방향을 따라 바깥쪽으로 이동하여, 각각 참조 부호(50a~50d)로 나타내는 위치에 도달한다. 이렇게 해서, 실시예 2의 변형예 1에서는, 특성이 다른 4 종류의 4극 조명용 회절 광학 소자를 병용하는 것에 의해, 광축 AX를 중심으로 하는 둥근 고리 형상의 영역에 있어서 각 면 광원의 위치, 형상 및 크기를 자유롭게 변화시킬 수 있다.

또, 도 17 및 도 18에서는 각 면 광원(48a~48d)이 서로 접하도록 배치하고 있지만, 각 면 광원(48a~48d)이 서로 간격을 두도록 배치할 수도 있다. 어떠한 경우든, 원추 액시콘(14), 제 1 V홈 액시콘(15), 제 2 V홈 액시콘(16) 및 줌 렌즈(7)의 작용에 의해, 광축 AX를 중심으로 하는 둥근 고리 형상의 영역에 있어서 각 면 광원의 위치, 형상 및 크기를 소망하는 상태로 적절히 변경시킬 수 있다.

또한, 실시예 2의 변형예 2에서는 4극 조명용의 회절 광학 소자(11a)로서, 특성이 다른 2 종류의 회절 광학 소자를 구비하고 있다. 도 19는 실시예 2의 변형예 2에 있어서 특성이 다른 2 종류의 4극 조명용 회절 광학 소자를 거쳐서 형성되는 각 면 광원과 그 이동 및 변형에 대하여 설명하는 도면이다. 도 19에 있어서도 도 15~도 18과 마찬가지로, 표준 상태에서 형성되는 가장 작은 4극 형상의 2차 광원을 구성하는 4개의 원 형상의 면 광원중 하나인 면 광원(51)에 주목하고 있다.

실시예 2의 변형예 2에서는, 한쪽의 4극 조명용 회절 광학 소자에 의해, 4개의 면 광원의 중심점을 연결하여 형성되는 사각형이 X 방향을 따라 가늘고 긴 직사각형으로 되는 4극 형상의 2차 광원이 형성된다. 한쪽의 4극 조명용 회절 광학 소자를 거쳐서 형성된 4극 형상의 2차 광원을 구성하는 4개의 원 형상의 면 광원중 하나인 면 광원(51a)(도 16의 (46a)에 대응)은, 제 1 V홈 액시콘(15) 및 제 2 V홈 액시콘(16)의 작용에 의해, 참조 부호(52a)로 나타내는 직사각형 형상의 범위내에서 이동한다.

또한, 다른쪽의 4극 조명용 회절 광학 소자에 의해, 4개의 면 광원의 중심점을 연결하여 형성되는 사각형이 Z 방향을 따라 가늘고 긴 직사각형으로 되는 4극 형상의 2차 광원이 형성된다. 다른쪽의 4극 조명용 회절 광학 소자를 거쳐서 형성된 4극 형상의 2차 광원을 구성하는 4개의 원 형상의 면 광원중 하나인 면 광원(51b)(도 16의 참조 부호 (46b)에 대응)은 제 1 V홈 액시콘(15) 및 제 2 V홈 액시콘(16)의 작용에 의해, 참조 부호(52b)로 나타내는 직사각형 형상의 범위내에서 이동한다.

또한, 한쪽의 4극 조명용 회절 광학 소자와 제 2 V홈 액시콘(16)의 병용에 의해, 또는 다른쪽의 4극 조명용 회절 광학 소자와 제 1 V홈 액시콘(15)의 병용에 의해, 초기적인 면 광원(51a와 51b)의 중간적인 위치에 면 광원(51c)이 형성된다. 이 경우, 면 광원(51c)에 대하여 줌 렌즈(7)의 변배 기능을 작용시키는 것에 의해, 면 광원(51c)은 그 원 형상을 유지한 채 확대되고, 또한 그의 중심 위치가 광축 AX를 중심으로 한 원의 직경 방향을 따라 바깥쪽으로 이동하여, 참조 부호(51d)로 나타내는 위치에 도달한다.

또는, 도시를 생략했지만, 면 광원(51c)에 대하여 원추 액시콘(14)을 작용시키는 것에 의해, 면 광원(51c)은 그 원 형상이 확대된 타원 형상으로 변화되고, 또한 그의 중심 위치가 광축 AX를 중심으로 한 원의 직경 방향을 따라 바깥쪽으로 이동한다. 이렇게 해서, 실시예 2의 변형예 2에서는 특성이 다른 2 종류의 4극 조명용 회절 광학 소자를 병용하는 것에 의해, 광축 AX를 중심으로 하는 둥근 고리 형상의 영역에 있어서 각 면 광원의 위치를 자유롭게 이동시킬 수 있다. 또한, 일반적으로는 원추 액시콘(14), 제 1 V홈 액시콘(15), 제 2 V홈 액시콘(16) 및 줌 렌즈(7)의 작용에 의해, 광

축 AX를 중심으로 하는 둥근 고리 형상의 영역에 있어서 각 면 광원의 위치, 형상 및 크기를 소망하는 상태로 적절히 변경할 수 있다.

다음에, 4극 조명용의 회절 광학 소자(11a) 대신에 고리띠 조명용의 회절 광학 소자(11b)를 조명 광로중에 설정하는 것에 의해 얻어지는 고리띠 조명에 대하여 간단히 설명한다. 이 경우, 회절 광학 소자(11b)에 입사한 거의 평행한 광속은, 아포컬 렌즈(12)의 동공면에 고리띠 형상의 광 강도 분포를 형성한 후, 거의 평행한 광속으로 되어 아포컬 렌즈(12)로부터 사출된다. 아포컬 렌즈(12)를 거친 광속은 줌 렌즈(7)를 거쳐서 마이크로 플라이 아이(8a)의 입사면에 광축 AX를 중심으로 한 고리띠 형상의 조야를 형성한다. 그 결과, 마이크로 플라이 아이(8a)의 뒤측 초점면에는 그의 입사 광속에 의해서 형성되는 조야와 거의 동일한 광 강도 분포를 갖는 2차 광원, 즉 광축 AX를 중심으로 한 고리띠 형상의 2차 광원이 형성된다.

도 20은 실시예 2의 고리띠 조명에 있어서 형성되는 2차 광원에 대한 원추 엑시콘의 작용을 설명하는 도면이다. 실시예 2의 고리띠 조명에서는, 표준 상태에서 형성된 가장 작은 고리띠 형상의 2차 광원(60a)이 원추 엑시콘(14)의 간격을 0으로부터 소정의 값까지 확대시키는 것에 의해, 그 폭(외부 직경과 내부 직경의 차의 1/2 : 도면에 있어서 화살표로 나타냄)이 변화되지 않고, 그 외부 직경 및 내부 직경이 함께 확대된 고리띠 형상의 2차 광원(60b)으로 변화한다. 바꿔 말하면, 고리띠 형상의 2차 광원은 원추 엑시콘(14)의 작용에 의해, 그 폭이 변화되지 않고 그 고리띠비 및 크기(외부 직경)가 모두 변화된다.

도 21은 실시예 2의 고리띠 조명에 있어서 형성되는 2차 광원에 대한 줌 렌즈의 작용을 설명하는 도면이다. 실시예 2의 고리띠 조명에서는, 표준 상태에서 형성된 고리띠 형상의 2차 광원(60a)이 줌 렌즈(7)의 초점 거리를 최소값으로부터 소정의 값으로 확대시키는 것에 의해, 그 전체 형상이 상사적으로 확대된 고리띠 형상의 2차 광원(60c)으로 변화한다. 바꿔 말하면, 고리띠 형상의 2차 광원은 줌 렌즈(7)의 작용에 의해, 그 고리띠비가 변화하지 않고 그 폭 및 크기(외부 직경)가 모두 변화한다.

도 22는 실시예 2의 고리띠 조명에 있어서 형성되는 2차 광원에 대한 제 1 V홈 엑시콘 및 제 2 V홈 엑시콘의 작용을 설명하는 도면이다. 상술한 바와 같이, 제 1 V홈 엑시콘(15)의 간격의 변화에 따라, 소정면(13)으로의 입사 광속의 Z 방향에 따른 입사 각도는 변화하지 않지만, 소정면(13)으로의 입사 광속의 X 방향에 따른 입사 각도는 변화한다. 그 결과, 도 22의 (a)에 도시하는 바와 같이, 고리띠 형상의 2차 광원(60a)을 구성하는 4개의 1/4의 원호 형상의 각 면 광원(61~64)은 Z 방향으로 이동하지 않지만 X 방향으로 이동한다. 즉, 제 1 V홈 엑시콘(15)의 간격이 0으로부터 소정의 값으로 확대되면, 면 광원(61 및 63)은 -X 방향으로 이동하고, 면 광원(62 및 64)은 +X 방향으로 이동한다.

한편, 제 2 V홈 엑시콘(16)의 간격의 변화에 따라, 소정면(13)으로의 입사 광속의 X 방향에 따른 입사 각도는 변화하지 않지만, 소정면(13)으로의 입사 광속의 Z 방향에 따른 입사 각도는 변화한다. 그 결과, 도 22의 (b)에 도시하는 바와 같이, 각 면 광원(61~64)은 X 방향으로 이동하지 않지만 Z 방향으로 이동한다. 즉, 제 2 V홈 엑시콘(16)의 간격이 0으로부터 소정의 값으로 확대되면, 면 광원(61 및 62)은 +Z 방향으로 이동하고, 면 광원(63 및 64)은 -Z 방향으로 이동한다.

또한, 제 1 V홈 엑시콘(15)의 간격 및 제 2 V홈 엑시콘(16)의 간격이 모두 변화되면, 소정면(13)으로의 입사 광속의

X 방향에 따른 입사 각도 및 Z 방향에 따른 입사 각도는 모두 변화한다. 그 결과, 도 22의 (c)에 도시하는 바와 같이, 각 면 광원(61~64)은 Z 방향 및 X 방향으로 이동한다. 즉, 제 1 V홈 액시콘(15)의 간격 및 제 2 V홈 액시콘(16)의 간격이 0으로부터 소정의 값으로 확대되면, 면 광원(61)은 +Z 방향 및 -X 방향으로 이동하고, 면 광원(62)은 +Z 방향 및 +X 방향으로 이동하고, 면 광원(63)은 -Z 방향 및 -X 방향으로 이동하며, 면 광원(64)은 -Z 방향 및 +X 방향으로 이동한다. 이렇게 해서, 4개의 독립된 원호 형상의 면 광원으로 이루어지는 4극 형상의 2차 광원을 형성할 수 있다.

이상, 실시예 2의 고리띠 조명에 있어서의 원추 액시콘(14), 제 1 V홈 액시콘(15), 제 2 V홈 액시콘(16) 및 줌 렌즈(7)의 작용을 개별적으로 설명했지만, 이들 광학 부재의 상호 작용에 의해 다양한 형태의 고리띠 조명이 가능하다. 구체적으로는, 도 22의 (c)에 나타내는 상태에 있어서, 줌 렌즈(7)를 작용시키면, 예를 들면 면 광원(62)은 광축 AX를 중심으로 한 원의 직경 방향을 따라 이동하고, 그 전체 형상이 상사적으로 변화된 면 광원(62a)으로 변화한다. 한편, 도 22의 (c)에 나타내는 상태에 있어서, 원추 액시콘(14)을 작용시키면, 예를 들면 면 광원(64)은 광축 AX를 중심으로 한 원의 직경 방향을 따라 이동하고, 그의 직경 방향의 치수는 변화하지 않고 그의 둘레 방향의 치수만이 변화된 면 광원(64a)으로 변화한다.

그러나, 실제로는 광학 설계상의 제약에 의해, 원추 액시콘(14)에 의한 고리띠비의 변경 범위에는 제한이 있다. 그래서, 실시예 2에서는 고리띠 조명용의 회절 광학 소자(11b)로서, 특성이 다른 2 종류의 회절 광학 소자를 구비하고 있다. 즉, 실시예 2에서는 한쪽의 고리띠 조명용 회절 광학 소자에 의해, 예를 들면 0.5~0.68의 범위에서 고리띠비를 변경하는데 적합한 형상을 갖는 고리띠 형상의 2차 광원을 형성한다. 또한, 다른쪽의 고리띠 조명용 회절 광학 소자에 의해, 예를 들면 0.68~0.8의 범위에서 고리띠비를 변경하는데 적합한 형상을 갖는 고리띠 형상의 2차 광원을 형성한다. 그 결과, 2 종류의 고리띠 조명용 회절 광학 소자의 병용에 의해, 0.5~0.8의 범위에서 고리띠비를 변경하는 것이 가능해진다.

그런데, 도 23의 (a)를 참조하면, 도 22의 (a) 또는 (b)의 우측에서 얻어지는 2극 형상의 2차 광원에 외접하는 원(도면중 점선으로 나타냄)의 곡률과 각 반원호 형상의 면 광원의 외측 원호의 곡률이 일치하지 않는다는 것을 알 수 있다. 그래서, 실시예 2의 변형예 3에서는, 제 1 V홈 액시콘(15) 또는 제 2 V홈 액시콘(16)의 작용에 의해서 얻어지는 2극 형상의 2차 광원에 외접하는 원의 곡률과 반원호 형상의 각 면 광원의 외측 원호의 곡률을 일치시키기 위해, 제 3 고리띠 조명용 회절 광학 소자를 부설하고 있다. 제 3 고리띠 조명용 회절 광학 소자는, 도 23의 (b)에 도시하는 바와 같이, 광축 AX를 중심으로 한 2개의 원에 의해서 규정되는 완전한 고리띠 형상의 2차 광원이 아니라, X 방향 또는 Z 방향을 따라 약간 편평한 타원의 고리 형상의 2차 광원을 형성한다.

더 상세하게는, 제 3 고리띠 조명용 회절 광학 소자에 의해 형성되는 타원의 고리 형상의 2차 광원은 한 쌍의 원호 형상의 면 광원(65a와 65b)으로 구성되고, 각 면 광원(65a 및 65b)의 외측 원호의 곡률은 제 1 V홈 액시콘(15) 또는 제 2 V홈 액시콘(16)의 작용에 의해서 얻어지는 2극 형상의 2차 광원에 외접하는 원의 곡률과 일치하도록 설정되어 있다. 따라서, 실시예 2의 변형예 3에서는, 제 1 V홈 액시콘(15) 또는 제 2 V홈 액시콘(16)의 작용에 의해서 얻어지는 2극 형상의 2차 광원에 있어서, 이 2극 형상의 2차 광원에 외접하는 원의 곡률과 원호 형상의 각 면 광원(65a 및 65b)의 외측 원호의 곡률이 일치한다.

또, 4극 조명용의 회절 광학 소자(11a) 또는 고리띠 조명용의 회절 광학 소자(11b) 대신에 원형 조명용의 회절 광학 소자(11c)를 조명 광로중에 설정함으로써 얻어지는 통상의 원형 조명에 대하여 간단히 설명한다. 이 경우, 회절 광학 소자(11c)에 입사된 거의 평행한 광속은 아포컬 렌즈(12)의 동공면에 원 형상의 광 강도 분포를 형성한 후, 거의 평행한 광속으로 되어 아포컬 렌즈(12)로부터 사출된다.

아포컬 렌즈(12)를 거친 광속은, 줌 렌즈(7)를 거쳐서 마이크로 플라이 아이(8a)의 입사면에 광축 AX를 중심으로 한 원 형상의 조야를 형성한다. 그 결과, 마이크로 플라이 아이(8a)의 뒤측 초점면(즉, 조명 광학계의 동공)에는 그의 입사 광속에 의해서 형성되는 조야와 거의 동일한 광 강도 분포를 갖는 2차 광원, 즉 광축 AX를 중심으로 한 원 형상의 2차 광원이 형성된다.

실시에 2의 원형 조명에서는, 표준 상태에서 형성된 가장 작은 원 형상의 2차 광원이, 줌 렌즈(7)의 초점 거리를 최소 값으로부터 소정의 값으로 확대시키는 것에 의해, 그 전체 형상이 상사적으로 확대된 원 형상의 2차 광원으로 변화한다. 바꿔 말하면, 실시에 2의 원형 조명에서는, 줌 렌즈(7)의 초점 거리를 변화시키는 것에 의해, 원 형상의 2차 광원의 크기(외부 직경)를 변경할 수 있다.

도 24는 실시에 2의 원형 조명에 있어서 형성되는 2차 광원에 대한 제 1 V홈 액시콘 및 제 2 V홈 액시콘의 작용을 설명하는 도면이다. 실시에 2의 원형 조명에서는, 제 1 V홈 액시콘(15)의 간격이 0으로부터 소정의 값으로 확대되면, 도 24의 (a)에 도시하는 바와 같이, 원 형상의 2차 광원을 구성하는 4개의 1/4의 원 형상의 면 광원(66a~66d) 중, 면 광원(66a 및 66c)은 -X 방향으로 이동하고, 면 광원(66b 및 66d)는 +X 방향으로 이동한다.

한편, 제 2 V홈 액시콘(16)의 간격이 0으로부터 소정의 값으로 확대되면, 도 24의 (b)에 도시하는 바와 같이, 면 광원(66a 및 66b)은 +Z 방향으로 이동하고, 면 광원(66c 및 66d)은 -Z 방향으로 이동한다. 또, 제 1 V홈 액시콘(15)의 간격 및 제 2 V홈 액시콘(16)의 간격이 모두 0으로부터 소정의 값으로 확대되면, 도 24의 (c)에 도시하는 바와 같이, 면 광원(66a)은 +Z 방향 및 -X 방향으로 이동하고, 면 광원(66b)은 +Z 방향 및 +X 방향으로 이동하고, 면 광원(66c)은 -Z 방향 및 -X 방향으로 이동하며, 면 광원(66d)은 -Z 방향 및 +X 방향으로 이동한다. 이렇게 해서, 4개의 독립된 1/4의 원 형상의 면 광원으로 이루어지는 4극 형상의 2차 광원을 형성할 수 있다.

이상, 실시에 2의 원형 조명에 있어서의 제 1 V홈 액시콘(15), 제 2 V홈 액시콘(16) 및 줌 렌즈(7)의 작용을 개별적으로 설명했지만, 이들 광학 부재의 상호 작용에 의해 다양한 형태의 원형 조명이 가능하다. 그러나, 실제로는 광학 설계상의 제약에 의해, 줌 렌즈(7)에 의한 외부 직경의 변배 범위에는 제한이 있다. 그래서, 실시에 2에서는 원형 조명용의 회절 광학 소자(11c)로서, 특성이 다른 2 종류의 회절 광학 소자를 구비하고 있다.

즉, 실시에 2에서는 한쪽의 원형 조명용 회절 광학 소자에 의해, 비교적 작은  $\sigma$  값, 즉 소(小)  $\sigma$ 로부터 중간적인  $\sigma$  값, 즉 중(中)  $\sigma$ 까지의 범위에서  $\sigma$  값을 변경하는데 적합한 형상을 갖는 원 형상의 2차 광원을 형성한다. 또한, 다른쪽의 원형 조명용 회절 광학 소자에 의해, 중  $\sigma$ 로부터 비교적 큰  $\sigma$  값, 즉 대(大)  $\sigma$ 값까지의 범위에서  $\sigma$  값을 변경하는데 적합한 형상을 갖는 원 형상의 2차 광원을 형성한다. 그 결과, 2 종류의 원형 조명용 회절 광학 소자의 병용에 의해, 소  $\sigma$ 로부터 대  $\sigma$ 까지의 범위(예를 들면,  $0.1 \leq \sigma \leq 0.95$ )에서  $\sigma$  값을 변경하는 것이 가능해진다.

이하, 실시에 2에 있어서의 조명 조건의 전환 동작 등에 대하여 구체적으로 설명한다. 우선, 스텝·앤드·리피트 방식 또는 스텝·앤드·스캔 방식에 따라서 순차적으로 노광해야 할 각종 마스크에 관한 정보 등이 키보드 등의 입력 수단(20)을 거쳐서 제어계(21)에 입력된다. 제어계(21)는 각종 마스크에 관한 최적의 선폭(해상도), 초점 심도 등의 정보를 내부의 메모리부에 기억하고 있고, 입력 수단(20)으로부터의 입력에 응답하여 구동계(24, 26~28)에 적당한 제어 신호를 공급한다.

즉, 최적의 해상도 및 초점 심도를 기초로 4극 조명하는 경우, 구동계(26)는 제어계(21)로부터의 지령에 근거하여 4극 조명용의 회절 광학 소자(11a)를 조명 광로중에 위치 결정한다. 그리고, 소망하는 형태를 갖는 4극 형상의 2차 광원을 얻기 위해서, 구동계(28a~28c)는 제어계(21)로부터의 지령에 근거하여 액시콘(4~16)의 간격을 설정하고, 구동계(24)는 제어계(21)로부터의 지령에 근거하여 줌 렌즈(7)의 초점 거리를 설정한다. 또한, 구동계(27)는 제어계(21)로

부터의 지령에 근거하여 투영 광학계 PL의 가변 개구 조리개를 구동시킨다.

또, 필요에 따라서, 구동계(28a~28c)에 의해 액시콘(4~16)의 간격을 변화시키거나, 구동계(24)에 의해 줌 렌즈(7)의 초점 거리를 변화시키는 것에 의해, 마이크로 플라이 아이(8a)의 뒤측 초점면에 형성되는 4극 형상의 2차 광원의 형태를 적절히 변경할 수 있다. 이렇게 해서, 4극 형상의 2차 광원의 전체 크기(외부 직경) 및 형상(고리띠비), 각 면 광원의 위치, 형상, 크기 등을 적절히 변화시켜, 다양한 4극 조명을 행할 수 있다.

또한, 최적인 해상도 및 초점 심도를 기초로 고리띠 조명하는 경우, 구동계(26)는 제어계(21)로부터의 지령에 근거하여 고리띠 조명용의 회절 광학 소자(11b)를 조명 광로중에 위치 결정한다. 그리고, 소망하는 형태를 갖는 고리띠 형상의 2차 광원을 얻기 위해, 또는 고리띠 형상의 2차 광원으로부터 파생적으로 얻어지는 4극 형상의 2차 광원 또는 2극 형상의 2차 광원을 얻기 위해, 구동계(28a~28c)는 제어계(21)로부터의 지령에 근거하여 액시콘(4~16)의 간격을 설정하고, 구동계(24)는 제어계(21)로부터의 지령에 근거하여 줌 렌즈(7)의 초점 거리를 설정한다. 또한, 구동계(27)는 제어계(21)로부터의 지령에 근거하여 투영 광학계 PL의 가변 개구 조리개를 구동시킨다.

또한, 필요에 따라서, 구동계(28a~28c)에 의해 액시콘(4~16)의 간격을 변화시키거나, 구동계(24)에 의해 줌 렌즈(7)의 초점 거리를 변화시키거나 하는 것에 의해, 마이크로 플라이 아이(8a)의 뒤측 초점면에 형성되는 고리띠 형상의 2차 광원의 형태, 또는 파생적으로 얻어지는 4극 형상의 2차 광원 또는 2극 형상의 2차 광원의 형태를 적절히 변경할 수 있다. 이렇게 해서, 고리띠 형상의 2차 광원의 전체 크기(외부 직경) 및 형상(고리띠비), 파생적으로 얻어지는 각 면 광원의 위치, 형상, 크기 등을 적절히 변화시켜, 다양한 고리띠 조명을 행할 수 있다.

또한, 최적인 해상도 및 초점 심도를 기초로 통상의 원형 조명을 행하는 경우, 구동계(26)는 제어계(21)로부터의 지령에 근거하여 원형 조명용의 회절 광학 소자(11c)를 조명 광로중에 위치 결정한다. 그리고, 소망하는 형태를 갖는 원형상의 2차 광원을 얻기 위해, 또는 원형상의 2차 광원으로부터 파생적으로 얻어지는 4극 형상의 2차 광원 또는 2극 형상의 2차 광원을 얻기 위해, 구동계(28a~28c)는 제어계(21)로부터의 지령에 근거하여 액시콘(4~16)의 간격을 설정하고, 구동계(24)는 제어계(21)로부터의 지령에 근거하여 줌 렌즈(7)의 초점 거리를 설정한다. 또한, 구동계(27)는 제어계(21)로부터의 지령에 근거하여 투영 광학계 PL의 가변 개구 조리개를 구동시킨다.

또, 필요에 따라서, 구동계(28a~28c)에 의해 액시콘(4~16)의 간격을 변화시키거나, 구동계(24)에 의해 줌 렌즈(7)의 초점 거리를 변화시키거나 하는 것에 의해, 마이크로 플라이 아이(8a)의 뒤측 초점면에 형성되는 원형상의 2차 광원의 형태, 또는 파생적으로 얻어지는 4극 형상의 2차 광원 또는 2극 형상의 2차 광원의 형태를 적절히 변경할 수 있다. 이렇게 해서, 원형상의 2차 광원의 전체 크기(더 나아가서는  $\sigma$  값), 파생적으로 얻어지는 각 면 광원의 위치, 형상, 크기 등을 적절히 변화시켜, 다양한 원형 조명을 행할 수 있다.

또, 실시예 2에서는, 광원측으로부터 순서대로 원추 액시콘(14), 제 1 V홈 액시콘(15), 제 2 V홈 액시콘(16)을 배치하고 있지만, 이 배치 순서를 적절히 변화시킬 수도 있다. 또한, 각 액시콘(4~16)에서는, 광원측으로부터 순서대로 오목형상의 굴절면을 갖는 제 1 프리즘 부재와 볼록형상의 굴절면을 갖는 제 2 프리즘을 배치하고 있지만, 이 배치 순서를 반대로 할 수도 있다.

또한, 실시예 2에서는 각 액시콘(4~16)이 각각 한 쌍의 프리즘 부재로 구성되어 있지만, 이것에 한정되는 것은 아니고, 예를 들면 원추 액시콘(14)의 제 2 프리즘 부재(14b)와 제 1 V홈 액시콘(15)의 제 1 프리즘 부재(15a)를 일체화



시키거나, 제 1 V홈 액시콘(15)의 제 2 프리즘 부재(15b)와 제 2 V홈 액시콘(16)의 제 1 프리즘 부재(16a)를 일체화시키거나 할 수도 있다. 이 경우, 원추 액시콘(14)의 제 1 프리즘 부재(14a), 일체화된 2개의 프리즘 및 제 2 V홈 액시콘(16)의 제 2 프리즘 부재(16b)중 적어도 3개의 부재를 광축 AX를 따라 이동시키는 것에 의해, 각 액시콘(4~16)의 간격을 각각 독립적으로 변화시킬 수 있다.

### (실시예 3)

도 25는 본 발명의 실시예 3에 따른 조명 광학 장치를 구비한 노광 장치의 구성을 개략적으로 도시하는 도면이다. 도 26은 실시예 3에 있어서 아포컬 렌즈의 광로중에 배치된 한 쌍의 V홈 액시콘의 구성을 개략적으로 도시하는 사시도이다. 실시예 3은 실시예 2와 유사한 구성을 갖는다. 그러나, 실시예 2에서는 아포컬 렌즈(12)의 광로중에 원추 액시콘과 한 쌍의 V홈 액시콘이 배치되어 있는데 반해, 실시예 3에서는 한 쌍의 V홈 액시콘만이 배치되어 있는 점이 실시예 2와 기본적으로 상이하다. 이하, 실시예 2와의 상이점에 주목하여 실시예 3을 설명한다.

실시예 3의 4극 조명에서는, 원추 액시콘이 배치되어 있지 않기 때문에, 4극 형상의 2차 광원을 구성하는 각 면 광원의 원 형상을 타원 형상으로 변화시킬 수 없다. 그러나, 복수의 4극 조명용 회절 광학 소자(11a)를 선택적으로 이용하고, 또한 제 1 V홈 액시콘(15) 및 제 2 V홈 액시콘(16)의 작용을 이용하는 것에 의해, 광축 AX를 중심으로 하는 등근 고리 형상의 영역에 있어서 각 면 광원의 위치를 적절히 변경할 수 있다. 또한, 줌 렌즈(7)의 변배 작용을 보조적으로 이용하는 것에 의해, 광축 AX를 중심으로 하는 등근 고리 형상의 영역에 있어서 각 면 광원의 위치 및 크기를 적절히 변경할 수 있다.

한편, 실시예 3의 고리띠 조명에서는, 원추 액시콘이 배치되어 있지 않기 때문에, 고리띠 형상의 2차 광원의 고리띠비를 연속적으로 변화시킬 수 없다. 그러나, 복수의 고리띠 조명용 회절 광학 소자(11b)를 선택적으로 이용하고, 또한 제 1 V홈 액시콘(15), 제 2 V홈 액시콘(16) 및 줌 렌즈(7)의 작용을 이용하는 것에 의해, 고리띠 형상의 2차 광원의 전체적인 크기 및 형상(고리띠비), 또는 고리띠 형상의 2차 광원으로부터 파생적으로 얻어지는 2극 형상의 2차 광원 또는 4극 형상의 2차 광원을 구성하는 각 면 광원의 위치, 형상 및 크기를 적절히 변경할 수 있다.

그런데, 원형 조명에서는 원추 액시콘의 작용을 적극적으로 이용하는 경우는 없다. 따라서, 실시예 3의 원형 조명에 있어서도 실시예 2의 경우와 마찬가지로, 원 형상의 2차 광원의 전체적인 크기, 또는 원 형상의 2차 광원으로부터 파생적으로 얻어지는 2극 형상의 2차 광원 또는 4극 형상의 2차 광원을 구성하는 각 면 광원의 위치, 형상 및 크기를 적절히 변경할 수 있다.

### (실시예 4)

도 27은 본 발명의 실시예 4에 따른 조명 광학 장치를 구비한 노광 장치의 구성을 개략적으로 도시하는 도면이다. 도 28은 실시예 4에 있어서 아포컬 렌즈의 광로중에 배치된 원추 액시콘 및 제 1 V홈 액시콘의 구성을 개략적으로 도시하는 사시도이다. 실시예 4는 실시예 2와 유사한 구성을 갖는다. 그러나, 실시예 2에서는 아포컬 렌즈(12)의 광로중에 원추 액시콘과 한 쌍의 V홈 액시콘이 배치되어 있는 데 반해, 실시예 4에서는 원추 액시콘 및 제 1 V홈 액시콘만이 배치되어 있는 점이 실시예 2와 기본적으로 상이하다. 이하, 실시예 2와의 상이점에 주목하여 실시예 4를 설명한다. 또, 도 27 및 도 28에서는 한쪽의 V홈 액시콘으로서 제 1 V홈 액시콘(15)을 나타내고 있지만, 한쪽의 V홈 액시콘은 제 2 V홈 액시콘(16)이더라도 무방하다.

실시예 4의 4극 조명에서는, 한쪽의 V홈 액시콘(15 또는 16)밖에 배치되어 있지 않으므로, 4극 형상의 2차 광원을 구성하는 원 형상의 각 면 광원의 형상 및 크기를 유지한 채 그 위치만을 2차원적으로 변화시킬 수는 없다. 그러나, 복수의 4극 조명용 회절 광학 소자(11a)를 선택적으로 이용하고, 또한 원추 액시콘(14), 한쪽의 V홈 액시콘(15 또는 16) 및 줌 렌즈(7)의 작용을 이용하는 것에 의해, 광축 AX를 중심으로 하는 둥근 고리 형상의 영역에 있어서 각 면 광원의 위치, 형상 및 크기를 적절히 변경할 수 있다.

한편, 실시예 4의 고리띠 조명에서는, 한쪽의 V홈 액시콘(15 또는 16)밖에 배치되어 있지 않으므로, 고리띠 형상의 2차 광원으로부터 파생적으로 4극 형상의 2차 광원을 얻을 수 없다. 그러나, 복수의 고리띠 조명용 회절 광학 소자(11b)를 선택적으로 이용하고, 또한 원추 액시콘(14), 한쪽의 V홈 액시콘(15 또는 16) 및 줌 렌즈(7)의 작용을 이용하는 것에 의해, 고리띠 형상의 2차 광원의 전체적인 크기 및 형상(고리띠비), 또는 고리띠 형상의 2차 광원으로부터 파생적으로 얻어지는 2극 형상의 2차 광원을 구성하는 각 면 광원의 위치, 형상 및 크기를 적절히 변경할 수 있다.

또한, 실시예 4의 원형 조명에서는, 한쪽의 V홈 액시콘(15 또는 16)밖에 배치되어 있지 않으므로, 원 형상의 2차 광원으로부터 파생적으로 4극 형상의 2차 광원을 얻을 수 없다. 그러나, 복수의 원형 조명용 회절 광학 소자(11c)를 선택적으로 이용하고, 또한 원추 액시콘(14), 한쪽의 V홈 액시콘(15 또는 16) 및 줌 렌즈(7)의 작용을 이용하는 것에 의해, 원 형상의 2차 광원의 전체적인 크기, 또는 원 형상의 2차 광원으로부터 파생적으로 얻어지는 2극 형상의 2차 광원을 구성하는 각 면 광원의 위치, 형상 및 크기를 적절히 변경할 수 있다.

#### (실시예 5)

도 29는 본 발명의 실시예 5에 따른 조명 광학 장치를 구비한 노광 장치의 구성을 개략적으로 도시하는 도면이다. 실시예 5는 실시예 2와 유사한 구성을 갖는다. 그러나, 실시예 5에서는 파면 분할형의 광학 적분기(마이크로 플라이 아이(8a)) 대신에 내면 반사형의 광학 적분기(로드형 적분기(70))를 이용하고 있는 점이 실시예 2와 기본적으로 상위하다. 이하, 실시예 2와의 상위점에 주목하여 실시예 5를 설명한다.

실시예 5에서는 마이크로 플라이 아이(8a) 대신에 로드형 적분기(70)를 배치하고 있는 것에 대응하여, 회절 광학 소자(11)와 로드형 적분기(70) 사이의 광로중에 광원측으로부터 순서대로 줌 렌즈(71), 제 2 회절 광학 소자(또는 마이크로 플라이 아이)(72) 및 입력(input) 렌즈(73)를 배치하고 있다. 또한, 조명 시야 조리개로서의 마스크 블라인드(17)는 로드형 적분기(70)의 사출면 근방에 배치되어 있다.

여기서, 줌 렌즈(71)는 그 앞측 초점 위치가 회절 광학 소자(11)의 위치와 거의 일치하고 또한 그 뒤측 초점 위치가 제 2 회절 광학 소자(72)의 위치와 거의 일치하도록 배치되어 있다. 또, 줌 렌즈(71)의 초점 거리의 변화는 제어계(21)로부터의 지령에 근거하여 동작하는 구동계(29)에 의해 행하여진다. 또한, 입력 렌즈(73)는 그 앞측 초점 위치가 제 2 회절 광학 소자(72)의 위치와 거의 일치하고 또한 그 뒤측 초점 위치가 로드형 적분기(70)의 입사면의 위치와 거의 일치하도록 배치되어 있다.

로드형 적분기(70)는 석영 유리나 형석과 같은 유리 재료로 이루어지는 내면 반사형의 유리 로드로서, 내부와 외부의 경계면, 즉 내면에서의 전반사(全反射)를 이용하여 집광점을 통과해서 로드 입사면과 평행한 면을 따라 내면 반사수에 따른 수의 광원 상을 형성한다. 여기서, 형성되는 광원 상의 대부분은 허상이지만, 중심(집광점)의 광원 상만이 실상으로 된다. 즉, 로드형 적분기(70)에 입사된 광속은 내면 반사에 의해 각도 방향으로 분할되고, 집광점을 통과하여 그 입사면과 평행한 면을 따라 다수의 광원 상으로 이루어지는 2차 광원이 형성된다.

따라서, 실시예 5의 4극 조명(고리띠 조명 또는 원형 조명)에서는, 조명 광로에 선택적으로 설치된 회절 광학 소자(11a)(11b 또는 11c)를 통과한 광속이, 줌 렌즈(71)를 거쳐서 제 2 회절 광학 소자(72)상에 4극 형상(고리띠 형상 또는 원 형상)의 조야를 형성한다. 제 2 회절 광학 소자(72)를 통과한 광속은 입력 렌즈(73)를 거쳐서, 로드형 적분기(70)의 입사면 근방에 집광한다. 도 30은 실시예 5에 있어서의 제 2 회절 광학 소자의 작용을 설명하는 도면이다.

도 30의 (a)에 도시하는 바와 같이, 제 2 회절 광학 소자(72)가 배치되어 있지 않은 경우, 줌 렌즈(71) 및 입력 렌즈(73)를 거친 광속이 로드형 적분기(70)의 입사면(70a)상에서 대략 한 점으로 집광한다. 그 결과, 로드형 적분기(70)에 의해 그의 입사측에 형성되는 다수의 광원이 매우 산일적으로 되어(2차 광원 전체에 대한 각 광원의 충전율이 작아져), 실질적인 면 광원을 얻을 수 없게 되어 버린다.

그래서, 실시예 5에서는, 광속 발산 소자로서의 제 2 회절 광학 소자(72)를 입력 렌즈(73)의 앞측 초점 위치 근방에 배치하고 있다. 이렇게 해서, 도 30의 (b)에 도시하는 바와 같이, 제 2 회절 광학 소자(72)를 거쳐서 발산된 광속이 입력 렌즈(73)를 거쳐서 로드형 적분기(70)의 입사면(70a)상에서 소정의 확산에 의해 집광된다. 그 결과, 로드형 적분기(70)에 의해 그의 입사측에 형성되는 다수의 광원이 매우 밀실로 되어(2차 광원 전체에 대한 각 광원의 충전율이 커져), 실질적인 면 광원으로서의 2차 광원을 얻을 수 있다.

로드형 적분기(70)에 의해 그의 입사측에 형성된 4극 형상(고리띠 형상 또는 원 형상)의 2차 광원으로부터의 광속은 그 사출면에서 중첩된 후, 마스크 블라인드(17) 및 결상 광학계(18)를 거쳐서 소정의 패턴이 형성된 마스크 M을 조명한다. 또, 실시예 5에서는, 줌 렌즈(71)의 앞측 렌즈군(71a)과 뒤측 렌즈군(71b) 사이의 광로중에 광원측으로부터 순서대로 원추 액시콘(14), 제 1 V홈 액시콘(15) 및 제 2 V홈 액시콘(16)이 배치되어 있다.

따라서, 실시예 5의 4극 조명에 있어서도 실시예 2와 마찬가지로, 복수의 4극 조명용 회절 광학 소자(11a)를 선택적으로 이용하고, 또한 원추 액시콘(14), 제 1 V홈 액시콘(15), 제 2 V홈 액시콘(16) 및 줌 렌즈(71)의 작용을 이용하는 것에 의해, 광축 AX를 중심으로 하는 둥근 고리 형상의 영역에 있어서 고리띠 형상의 2차 광원을 구성하는 각 면 광원의 위치, 형상 및 크기를 적절히 변경할 수 있다.

또한, 실시예 5의 고리띠 조명에 있어서도 실시예 2와 마찬가지로, 복수의 고리띠 조명용 회절 광학 소자(11b)를 선택적으로 이용하고, 또한 원추 액시콘(14), 제 1 V홈 액시콘(15), 제 2 V홈 액시콘(16) 및 줌 렌즈(71)의 작용을 이용하는 것에 의해, 고리띠 형상의 2차 광원의 전체적인 크기 및 형상(고리띠비), 또는 고리띠 형상의 2차 광원으로부터 파생적으로 얻어지는 2극 형상의 2차 광원 또는 4극 형상의 2차 광원을 구성하는 각 면 광원의 위치, 형상 및 크기를 적절히 변경할 수 있다.

또한, 실시예 5의 원형 조명에 있어서도 실시예 2와 마찬가지로, 복수의 원형 조명용 회절 광학 소자(11c)를 선택적으로 이용하고, 또한 원추 액시콘(14), 제 1 V홈 액시콘(15), 제 2 V홈 액시콘(16) 및 줌 렌즈(71)의 작용을 이용하는 것에 의해, 원 형상의 2차 광원의 전체적인 크기, 또는 원 형상의 2차 광원으로부터 파생적으로 얻어지는 2극 형상의 2차 광원 또는 4극 형상의 2차 광원을 구성하는 각 면 광원의 위치, 형상 및 크기를 적절히 변경할 수 있다.

이상과 같이, 실시예 2~실시예 5에 있어서도, V홈 액시콘(15 또는 16)의 간격을 변화시키는 것에 의해, 2차 광원의 전체 크기 및 형상이 X 방향 또는 Z 방향으로 변화한다. 그 결과, 마스크 M상의 직교하는 2 방향(X 방향 및 Y 방향)에서 서로 다른 조명 조건을 실현할 수 있고, 나아가서는 패턴에 방향성이 있는 마스크 M상의 직교하는 2 방향에서 최적인 조명 조건을 설정할 수 있다.

또, 상술한 실시예 2~실시예 5중, 가변 수단으로서 한 쌍의 V홈 액시콘(15 및 16)만을 구비한 실시예 3은 메모리(D

RAM 등)의 리소그래피 공정에 특히 적합하다. 또한, 가변 수단으로서 원추 액시콘(14)과 한쪽의 V홈 액시콘(15 또는 16)만을 구비한 실시예 4는 로직 디바이스(MPU 등)의 리소그래피 공정에 특히 적합하다. 또, 가변 수단으로서 원추 액시콘(14)과 한 쌍의 V홈 액시콘(15 및 16)을 구비한 실시예 2 및 실시예 5는 반도체 장치를 포함한 일반적인 마이크로디바이스의 리소그래피 공정에 적합하다.

그런데, 이상의 실시예 5(도 29 참조)에서는, 액시콘계(14, 15, 16)의 마스크층에 배치된 광학 적분기를 내면 반사형 광학 적분기(로드형 광학 적분기)(70)로 한 예를 설명했지만, 전술한 광학 적분기로서의 플라이 아이 렌즈(8)나 마이크로 플라이 아이(8a)를 내면 반사형 광학 적분기(로드형 광학 적분기)(70)와 치환하는 것도 가능하다는 것은 말할 필요도 없다.

또한, 이상의 실시예 2, 실시예 3 및 실시예 5(도 10, 도 25 및 도 29 참조)에서는, 제 1 V홈 액시콘(15)의 V홈의 방향을 Z 방향( $0^\circ$  방향)으로 하고, 제 2 V홈 액시콘(16)의 V홈의 방향을 X 방향( $90^\circ$  방향)으로 한 예를 나타내었지만, 본 발명은 이 배치에 한정되는 것은 아니며, 예컨대 제 1 V홈 액시콘(15)의 V홈의 방향을 광축 중심으로 시계 방향으로  $45^\circ$  회전시킨 방향( $45^\circ$  방향)으로 하고, 제 2 V홈 액시콘(16)의 V홈의 방향을 광축 중심으로 시계 방향으로  $45^\circ$  회전시킨 방향( $135^\circ$  방향) 등으로 할 수 있다. 이것에 의해, 마이크로 플라이 아이(8a)에 입사하는 홈의 그림자가 비스듬하게 되어 조도 불균일을 저감할 수 있다는 효과를 기대할 수 있다. 또한, 제 1 V홈 액시콘(15)의 V홈의 방향과 제 2 V홈 액시콘(16)의 V홈의 방향이 이루는 각(교차각)을 소망하는 조명 조건에 따라 임의로 변경할 수 있다. 이상과 같이, 2개의 V홈 액시콘의 홈의 교차각을 변경하기 위해서, 제어계(21)는 입력 수단(20)을 거쳐서 입력된 입력 정보에 근거하여 구동계(28b)와 구동계(28c)중 적어도 한쪽을 구동시켜, 제 1 V홈 액시콘(15)과 제 2 V홈 액시콘(16)을 광축 중심으로 상대적으로 회전시키면 된다.

또, 이상의 실시예 4(도 27을 참조)에서는 V홈 액시콘(15)의 V홈의 방향을 Z 방향( $0^\circ$  방향)으로 한 예를 나타내었지만, 본 발명은 이 배치에 한정되는 것은 아니며, 예컨대 V홈 액시콘(15)의 V홈의 방향을 광축 중심으로  $45^\circ$  회전시킨 방향( $45^\circ$  방향),  $90^\circ$  회전시킨 방향( $90^\circ$  방향),  $135^\circ$  회전시킨 방향( $135^\circ$  방향) 등으로 할 수 있다. 즉, V홈 액시콘(15)의 V홈의 방향을 소망하는 조명 조건에 따라 임의로 변경할 수 있다. 이상과 같이, V홈 액시콘의 홈의 방향을 변경하기 위해서, 제어계(21)는 입력 수단(20)을 거쳐서 입력된 입력 정보에 근거하여 구동계(28b)를 구동시켜, V홈 액시콘(15)을 광축 중심으로 소정의 회전량만큼 회전시키면 된다.

또한, 이상의 각 실시예에서는, 회절 광학 소자(11a, 11b, 11c)와  $\sigma$  값 가변용의 줌 렌즈(7)(변배 광학계)와의 병용으로  $\sigma$  값의 가변 범위를  $0.1 \sim 0.95$  ( $0.1 \leq \sigma \leq 0.95$ )로 하는 것이 바람직하지만,  $\sigma$  값 가변용의 줌 렌즈(7)(변배 광학계)를 구성하는 렌즈 매수나 그것의 공간 등의 제약이 해소되면, 장치로서 요구되는  $0.1 \sim 0.95$ 의  $\sigma$  값의 범위를 연속적으로 가변으로 할 수 있다.

또한, 이상의 실시예 1~실시예 5에 있어서의 고리띠 조명에 있어서, 조명 광학계의 동공(투영 광학계의 동공)에 형성되는 고리띠 광속은  $0.4 \sim 0.95$ 의  $\sigma$  값의 범위( $0.4 \leq \sigma \leq 0.95$ )내에서 고리띠비를 가변으로 하는 것이 바람직하다. 또한, 이상의 실시예 1~실시예 5에 있어서의 2극 조명이나 4극 조명을 비롯한 다극 조명에 있어서, 조명 광학계의 동공(투영 광학계의 동공)에 형성되는 다극 형상 광속은  $0.4 \sim 0.95$ 의  $\sigma$  값의 범위( $0.4 \leq \sigma \leq 0.95$ )내에서 위치나 크기를 가변으로 하는 것이 바람직하다.

또한, 이상의 실시예 1~실시예 5에 있어서, 투영 광학계 PL에 잔존하는 수차 또는 경시적으로 변화하는 수차(파면 수차 등)를 계측하기 위해서, 예컨대 미국 특허 제 5,828,455 호나 미국 특허 제 5,978,085 호 등에 개시되어 있는 수차 계측용 마스크(수차 계측용 레티클)를 마스크(레티클) M을 유지하는 도시하지 않은 마스크 스테이지 MS에 탑재하고,

그 수차 계측용 마스크에 대하여 적절한 조명을 함으로써, 투영 광학계 PL의 수차(파면 수차 등)를 고정밀도로 계측하는 것이 가능하다. 여기서, 투영 광학계 PL의 수차(파면 수차 등)를 고정밀도로 계측할 수 있는 조명 조건을 다양한 각도에서 연구해 온 결과, 조명 광학계  $\sigma$  값을  $0.01 \leq \sigma \leq 0.3$ 의 범위중 어느 하나로 설정하는 것이 바람직하다는 것이 판명되었다. 또, 투영 광학계 PL의 수차(파면 수차 등)를 한층 더 고정밀도로 계측하기 위해서는, 조명 광학계의  $\sigma$  값을  $0.02 \leq \sigma \leq 0.2$ 의 범위중 어느 하나로 설정하는 것이 한층 더 바람직하다. 이와 같이, 조명 광학계  $\sigma$  값을  $0.01 \leq \sigma \leq 0.3$ 의 범위 또는  $0.02 \leq \sigma \leq 0.2$ 의 범위로 조명 조건을 설정하기 위해서는, 이상의 각 실시예에 있어서의 조명 조건 설정 수단(4a, 4b, 5, 7, 10, 11a~11c, 12, 14~16, 71, 71a)의 일부를 구성하는 회절 광학 소자(11a, 11b, 11c) 대신에 극소  $\sigma$  값을 설정하는 계측용의 회절 광학 소자를 설정하면 된다. 또, 이상의 실시예 1~실시예 5의 투영 광학계 PL에 수차가 발생하고 있는 경우에는 계측된 수차 정보를 입력 수단(20)에 의해 입력하고, 제어계(21)는, 예컨대 입력 수단(20)을 거쳐서 입력된 수차 정보에 근거하여 도시하지 않은 구동계를 거쳐서 투영 광학계 PL을 구성하는 적어도 하나의 광학 소자(렌즈나 미러 등)를 이동(투영 광학계 PL의 광축 방향의 이동, 광축과 직교하는 방향의 이동, 광축에 대하여 경사, 광축 주위로 회전)시키는 것에 의해, 투영 광학계 PL의 수차를 비롯한 광학 특성의 악화를 보정할 수 있다.

또한, 이상의 실시예 1~실시예 5에 나타난 장치를 주사형 노광 장치로 한 경우에는, 조명 광학계는 마스크 M상에 슬릿 형상(짧은쪽 방향과 긴쪽 방향을 갖는 장방형 형상)의 조명 영역(도 1, 도 10, 도 25, 도 27 및 도 29의 지면 방향 또는 주사 방향으로 짧은쪽 방향을 갖는 조명 영역)을 웨이퍼 W상에 슬릿 형상의 노광 영역을 형성하고, 도시하지 않은 마스크 스테이지 MS에 유지된 마스크와, 도시하지 않은 웨이퍼 스테이지(기판 스테이지) WS에 유지된 웨이퍼(기판)를 주사 방향(도 1, 도 10, 도 25, 도 27 및 도 29의 지면 방향)을 따라 반대 방향으로 이동시키는 것에 의해, 마스크 M의 패턴 상이 투영 광학계 PL을 거쳐서 웨이퍼 W상에 형성된다. 이 경우, 도시하지 않은 마스크 스테이지 MS 및 도시하지 않은 웨이퍼 스테이지(기판 스테이지) WS는 도시하지 않은 각 스테이지를 구동시키는 구동 장치를 거쳐서 제어계(21)에 의해서 제어된다.

이상의 각 실시예에 나타난 장치에 있어서, 광학 적분기로서의 플라이 아이 렌즈(어레이 형상 광학 소자)(8)나 마이크로 플라이 아이(마이크로 어레이 형상 광학 소자)(8a)를 구성하는 다수의 광학 소자(렌즈 소자)의 개개의 단면 형상은, 마스크 M상에 형성되는 슬릿 형상(짧은쪽 방향과 긴쪽 방향을 갖는 직사각형 형상)의 조명 영역 및 웨이퍼 W상에 형성되는 슬릿 형상(짧은쪽 방향과 긴쪽 방향을 갖는 직사각형 형상)의 노광 영역과 상사로 하는 것이 바람직하다.

또한, 이상의 각 실시예에 나타난 바와 같이, 광학 적분기로서의 플라이 아이 렌즈(어레이 형상 광학 소자)(8)나 마이크로 플라이 아이(마이크로 어레이 형상 광학 소자)(8a)를 내면 반사형 광학 적분기(로드형 광학 적분기)로 치환한 주사형 노광 장치의 경우, 및 실시예 5와 같이 광학 적분기를 내면 반사형 광학 적분기(로드형 광학 적분기)로 한 주사형 노광 장치의 경우, 내면 반사형 광학 적분기(로드형 광학 적분기)의 단면 형상은 마스크 M상에 형성되는 슬릿 형상(짧은쪽 방향과 긴쪽 방향을 갖는 직사각형 형상)의 조명 영역 및 웨이퍼 W상에 형성되는 슬릿 형상(짧은쪽 방향과 긴쪽 방향을 갖는 직사각형 형상)의 노광 영역과 상사로 하는 것이 바람직하다.

또, 이상의 각 실시예에 나타난 장치를 주사형 노광 장치로 한 경우, 투영 광학계 PL의 대형화 및 복잡화를 초래하는 일없이 효율 좋게 넓은 시야를 유지하면서, 높은 스루풋하에서의 주사 노광을 달성하기 위해서는, 마스크 M상에 형성되는 슬릿 형상의 조명 영역(또는 웨이퍼 W상에 형성되는 슬릿 형상의 노광 영역)에 있어서의 짧은쪽 방향의 길이를  $L_s$ 로 하고, 그 조명 영역의 긴쪽 방향의 길이를  $L_l$ 로 할 때,  $0.05 < L_s/L_l < 0.7$ 의 관계를 만족시키는 것이 바람직하다. 이상의 각 실시예에 나타난 주사형 노광 장치에서는, 예컨대  $L_s/L_l = 1/3$ 로 하고 있다.

상술한 각 실시예에 따른 노광 장치에서는 조명 광학 장치에 의해서 마스크(레티클)를 조명하고(조명 공정), 투영 광학

계를 이용하여 마스크에 형성된 전사용의 패턴을 감광성 기판에 노광시키는 것(노광 공정)에 의해, 마이크로디바이스(반도체 소자, 촬상 소자, 액정 표시 소자, 박막 자기 헤드 등)를 제조할 수 있다. 이하, 상술한 각 실시예의 노광 장치를 이용하여 감광성 기판으로서의 웨이퍼 등에 소정의 회로 패턴을 형성하는 것에 의해 마이크로디바이스로서의 반도체 장치를 얻을 때의 방법의 일례에 관하여, 도 8의 흐름도를 참조해서 설명한다.

우선, 도 8의 단계 301에 있어서, 1 로트의 웨이퍼상에 금속막이 증착된다. 다음 단계 302에 있어서, 그 1 로트의 웨이퍼상의 금속막상에 포토레지스트가 도포 된다. 그 후, 단계 303에 있어서, 상술한 각 실시예의 노광 장치를 이용하여, 마스크상의 패턴의 상이 그 투영 광학계를 거쳐서 그 1 로트의 웨이퍼상의 각 쇼트 영역에 순차적으로 노광 전사된다. 그 후, 단계 304에 있어서, 그 1 로트의 웨이퍼상의 포토레지스트의 현상이 행해진 후, 단계 305에 있어서, 그 1 로트의 웨이퍼상에서 레지스트 패턴을 마스크로 하여 에칭을 실행하는 것에 의해, 마스크상의 패턴에 대응하는 회로 패턴이 각 웨이퍼상의 각 쇼트 영역에 형성된다. 그 후, 더 위에 레이어의 회로 패턴의 형성 등을 실행하는 것에 의해 반도체 소자 등의 디바이스가 제조된다. 상술한 반도체 장치 제조 방법에 의하면, 매우 미세한 회로 패턴을 갖는 반도체 장치를 스루풋 좋게 얻을 수 있다.

또한, 상술한 각 실시예의 노광 장치에서는, 플레이트(유리 기판)상에 소정의 패턴(회로 패턴, 전극 패턴 등)을 형성함으로써, 마이크로디바이스로서의 액정 표시 소자를 얻는 것도 가능하다. 이하, 도 9의 흐름도를 참조하여, 이 때의 방법의 일례에 관하여 설명한다. 도 9에 있어서, 패턴 형성 공정(단계 401)에서는, 상술한 각 실시예의 노광 장치를 이용하여 마스크의 패턴을 감광성 기판(레지스트가 도포된 유리 기판 등)에 전사 노광하는, 소위 광 리소그래피 공정이 실행된다. 이 광 리소그래피 공정에 의해서, 감광성 기판상에는 다수의 전극 등을 포함하는 소정 패턴이 형성된다. 그 후, 노광된 기판은 현상 공정, 에칭 공정, 레티클 박리 공정 등의 각 공정을 거침으로써 기판상에 소정의 패턴이 형성되고, 다음의 컬러 필터 형성 공정(단계 402)으로 이행한다.

다음에, 컬러 필터 형성 공정(단계 402)에서는, R(Red), G(Green), B(Blue)에 대응한 3개의 도트의 세트가 매트릭스 형상으로 다수 배열되거나, 또는 R, G, B의 3개의 스트라이프의 필터의 조를 복수 수평 주사선 방향으로 배열한 컬러 필터를 형성한다. 그리고, 컬러 필터 형성 공정(단계 402) 후에, 셀 조립 공정(단계 403)이 실행된다. 셀 조립 공정(단계 403)에서는, 패턴 형성 공정(단계 401)에서 얻어진 소정 패턴을 갖는 기판 및 컬러 필터 형성 공정(단계 402)에서 얻어진 컬러 필터 등을 이용하여 액정 패널(액정 셀)을 조립한다. 셀 조립 공정(단계 403)에서는, 예컨대 패턴 형성 공정(단계 401)에서 얻어진 소정 패턴을 갖는 기판과 컬러 필터 형성 공정(단계 402)에서 얻어진 컬러 필터 사이에 액정을 주입하여, 액정 패널(액정 셀)을 제조한다.

그 후, 모듈 조립 공정(단계 404)에서, 조립된 액정 패널(액정 셀)의 표시 동작을 실행시키는 전기 회로, 백 라이트 등의 각 부품을 부착하여 액정 표시 소자로서 완성시킨다. 상술한 액정 표시 소자의 제조 방법에 의하면, 매우 미세한 회로 패턴을 갖는 액정 표시 소자를 스루풋 좋게 얻을 수 있다.

또, 상술한 각 실시예에서는, 변형 조명에 있어서 4극 형상이나 고리띠 형상의 2차 광원을 예시적으로 형성하고 있지만, 광축에 대하여 편심된 2개의 면 광원으로 이루어지는 2극 형상의 2차 광원이나, 광축에 대하여 편심된 8개의 면 광원으로 이루어지는 8극 형상의 2차 광원과 같은, 소위 복수극 형상 또는 다극 형상의 2차 광원을 형성할 수도 있다.

또한, 상술한 각 실시예에서는, 조명 광학 장치를 구비한 투영 노광 장치를 예로 들어 본 발명을 설명했지만, 마스크 이외의 피조사면을 조명하기 위한 일반적인 조명 광학 장치에 본 발명을 적용할 수 있는 것은 명백하다.

발명의 효과

이상 설명한 바와 같이, 본 발명의 조명 광학 장치에서는, 광학 적분기로의 입사 광속의 소정 방향에 따른 입사 각도를 변화시키기 위해, 입사 광속의 종횡비를 변경하는 종횡비 변경 소자를 구비하고 있다. 따라서, 이 종횡비 변경 소자의 작용에 의해, 2차 광원의 전체 크기를 소정 방향을 따라 변화시킬 수 있고, 나아가서는 피조사면상의 직교하는 2 방향에서 서로 다른 조명 조건을 실현할 수 있다.

따라서, 본 발명의 조명 광학 장치를 설치한 노광 장치에서는, 패턴에 방향성이 있는 마스크상의 직교하는 2 방향에서 최적의 조명 조건을 설정할 수 있어, 양호한 조명 조건을 기초로 양호한 마이크로디바이스를 제조할 수 있다. 또한, 본 발명은, 적절한 조명 조건을 기초로 마스크의 패턴을 정확하게 전사할 수 있고, 동시에, 마스크의 패턴을 정확하게 전사하는데 있어서, 투영 광학계의 광학 성능을 고정밀도로 확인할 수 있는 노광 장치나 노광 방법 등을 실현할 수 있으며, 또한 양호한 마이크로디바이스를 제조할 수 있다.

#### (57) 청구의 범위

##### 청구항 1.

광원 수단으로부터의 광속(光束)에 근거하여 제 1 다수 광원을 형성하기 위한 제 1 광학 적분기와, 상기 제 1 다수 광원으로부터의 광속에 근거하여 보다 다수의 제 2 다수 광원을 형성하기 위한 제 2 광학 적분기를 구비하고, 상기 제 2 다수 광원으로부터의 광속으로 피조사면을 조명하는 조명 광학 장치에 있어서,

상기 제 1 광학 적분기와 상기 제 2 광학 적분기 사이의 광로중에 배치되어, 상기 제 2 다수 광원의 전체 크기를 상사(相似)적으로 변경하기 위한 변배 광학계와,

상기 제 1 광학 적분기로의 입사 광속의 소정 방향에 따른 입사 각도를 변화시키기 위해, 상기 입사 광속의 종횡비(縱橫比)를 변경하는 종횡비 변경 소자를 구비하고 있는 것

을 특징으로 하는 조명 광학 장치.

##### 청구항 2.

제 1 항에 있어서,

상기 종횡비 변경 소자는 광축을 중심으로 하여 회전 가능하게 구성되어 있는 것을 특징으로 하는 조명 광학 장치.

##### 청구항 3.

제 1 항에 있어서,

상기 종횡비 변경 소자는,

상기 광학 적분기 또는 상기 제 1 광학 적분기로의 입사 광속의 제 1 방향에 따른 입사 각도를 변화시키기 위한 제 1 종횡비 변경 소자와,

상기 광학 적분기 또는 상기 제 1 광학 적분기로의 입사 광속의 상기 제 1 방향과 직교하는 제 2 방향에 따른 입사 각도를 변화시키기 위한 제 2 종횡비 변경 소자를 갖는 것

을 특징으로 하는 조명 광학 장치.

##### 청구항 4.

제 1 항에 있어서,

상기 종횡비 변경 소자는, 상기 소정 방향을 따라 오목 형상 단면의 굴절면을 갖는 제 1 프리즘과, 해당 제 1 프리즘의 상기 오목 형상 단면의 굴절면과 상보(相補)적으로 형성된 볼록 형상 단면의 굴절면을 갖는 제 2 프리즘을 갖고, 상기 제 1 프리즘 및 상기 제 2 프리즘중 적어도 어느 한쪽이 광축을 따라 이동 가능하게 구성되어 있는 것을 특징으로 하는 조명 광학 장치.

청구항 5.

제 4 항에 있어서,

상기 제 1 프리즘의 상기 오목 형상 단면은 V자 형태의 형상을 갖는 것을 특징으로 하는 조명 광학 장치.

청구항 6.

광원 수단으로부터의 광속에 근거하여 다수 광원을 형성하기 위한 광학 적분기와, 해당 광학 적분기로부터의 광속을 피 조사면으로 인도하기 위한 도광 광학계를 구비한 조명 광학 장치에 있어서,

상기 광원 수단으로부터의 광속을 소정의 단면 형상을 갖는 광속 또는 소정의 광 강도 분포를 갖는 광속으로 변환하기 위한 광속 변환 소자와,

상기 광속 변환 소자와 상기 광학 적분기 사이의 광로중에 배치되어, 상기 광학 적분기로의 입사 광속의 소정 방향에 따른 입사 각도를 변화시키기 위해, 상기 입사 광속의 종횡비를 변경하는 종횡비 변경 소자를 구비하고 있는 것

을 특징으로 하는 조명 광학 장치.

청구항 7.

제 2 항에 있어서,

상기 종횡비 변경 소자는 광축을 중심으로 하여 회전 가능하게 구성되어 있는 것을 특징으로 하는 조명 광학 장치.

청구항 8.

제 2 항에 있어서,

상기 종횡비 변경 소자는,

상기 광학 적분기 또는 상기 제 1 광학 적분기로의 입사 광속의 제 1 방향에 따른 입사 각도를 변화시키기 위한 제 1 종횡비 변경 소자와,

상기 광학 적분기 또는 상기 제 1 광학 적분기로의 입사 광속의 상기 제 1 방향과 직교하는 제 2 방향에 따른 입사 각도를 변화시키기 위한 제 2 종횡비 변경 소자를 갖는 것

을 특징으로 하는 조명 광학 장치.

청구항 9.

제 2 항에 있어서,



상기 종횡비 변경 소자는, 상기 소정 방향을 따라 오목 형상 단면의 굴절면을 갖는 제 1 프리즘과, 해당 제 1 프리즘의 상기 오목 형상 단면의 굴절면과 상보적으로 형성된 볼록 형상 단면의 굴절면을 갖는 제 2 프리즘을 갖고, 상기 제 1 프리즘 및 상기 제 2 프리즘 중 적어도 어느 한쪽이 광축을 따라 이동 가능하게 구성되어 있는 것을 특징으로 하는 조명 광학 장치.

청구항 10.

제 9 항에 있어서,

상기 제 1 프리즘의 상기 오목 형상 단면은 V자 형태의 형상을 갖는 것을 특징으로 하는 조명 광학 장치.

청구항 11.

피조명 물체를 조명하는 조명 광학계를 구비한 조명 광학 장치에 있어서,

상기 조명 광학계는 해당 조명 광학계의 동공에서의 조명광의 크기 및 형상중 적어도 한쪽을 가변으로 하는 가변 수단을 구비하고,

상기 가변 수단은,

상기 조명 광학계의 광축과 직교하는 제 1 방향을 따라 상기 광축을 사이에 두고 대칭으로 상기 조명광을 변위시키는 제 1 변위 수단과,

상기 광축과 직교하고 또한 상기 제 1 방향과 교차하는 제 2 방향을 따라 상기 광축을 사이에 두고 대칭으로 상기 조명광을 변위시키는 제 2 변위 수단과,

상기 조명광의 크기를 가변으로 하는 변배 광학계를 갖는 것

을 특징으로 하는 조명 광학 장치.

청구항 12.

제 11 항에 있어서,

상기 조명 광학계는 상기 조명광의 형상을 소망하는 광속 형상으로 변환하고, 해당 소망하는 광속 형상으로 변환된 조명광을 상기 가변 수단으로 인도하는 광 형상 변환 수단을 구비하고 있는 것을 특징으로 하는 조명 광학 장치.

청구항 13.

제 12 항에 있어서,

상기 광 형상 변환 수단은,

상기 조명광의 형상을 제 1 광속 형상으로 변환하는 제 1 회절 광학 부재와,

해당 제 1 회절 광학 부재와 교환 가능하게 마련되고 상기 조명광의 형상을 제 2 광속 형상으로 변환하는 제 2 회절 광학 부재를 갖는 것

을 특징으로 하는 조명 광학 장치.

청구항 14.

제 11 항에 있어서,

상기 조명 광학계는 상기 가변 수단과 상기 피조명 물체 사이의 광로중에 배치되어 상기 피조명 물체를 균일하게 조명하는 광학 적분기를 구비하고 있는 것을 특징으로 하는 조명 광학 장치.

청구항 15.

피조명 물체를 조명하는 조명 광학계를 구비한 조명 광학 장치에 있어서,

상기 조명 광학계는 해당 조명 광학계의 동공에서의 조명광의 크기 및 형상중 적어도 한쪽을 가변으로 하는 가변 수단을 구비하고,

상기 가변 수단은,

상기 조명광을 소망하는 고리띠비를 갖는 고리띠 형상으로 변환하는 작용을 부여하는 고리띠비 가변 수단과,

상기 조명 광학계의 광축과 직교하는 제 1 방향을 따라 상기 광축을 사이에 두고 대칭으로 상기 조명광을 변위시키는 제 1 변위 수단을 갖는 것

을 특징으로 하는 조명 광학 장치.

청구항 16.

제 15 항에 있어서,

상기 가변 수단은 상기 조명광의 크기를 가변으로 하는 변배 광학계를 갖는 것을 특징으로 하는 조명 광학 장치.

청구항 17.

제 16 항에 있어서,

상기 가변 수단은 상기 광축과 직교하고 또한 상기 제 1 방향과 교차하는 제 2 방향을 따라 상기 광축을 사이에 두고 대칭으로 상기 조명광을 변위시키는 제 2 변위 수단을 갖는 것을 특징으로 하는 조명 광학 장치.

청구항 18.

제 17 항에 있어서,

상기 조명 광학계는 상기 조명광의 형상을 소망하는 광속 형상으로 변환하고, 해당 소망하는 광속 형상으로 변환된 조명광을 상기 가변 수단으로 인도하는 광 형상 변환 수단을 구비하고 있는 것을 특징으로 하는 조명 광학 장치.

청구항 19.

제 18 항에 있어서,

상기 광 형상 변환 수단은,

상기 조명광의 형상을 제 1 광속 형상으로 변환하는 제 1 회절 광학 부재와,

해당 제 1 회절 광학 부재와 교환 가능하게 마련되고 상기 조명광의 형상을 제 2 광속 형상으로 변환하는 제 2 회절 광학 부재를 갖는 것

을 특징으로 하는 조명 광학 장치.

청구항 20.

제 15 항에 있어서,

상기 조명 광학계는 상기 가변 수단과 상기 피조명 물체 사이의 광로중에 배치되어 상기 피조명 물체를 균일하게 조명하는 광학 적분기를 구비하고 있는 것을 특징으로 하는 조명 광학 장치.

청구항 21.

청구항 1 내지 청구항 20 중 어느 한 항에 기재된 조명 광학 장치와,

상기 피조사면에 배치된 마스크의 패턴을 감광성 기판에 투영 노광시키기 위한 투영 광학계를 구비하고 있는 것

을 특징으로 하는 노광 장치.

청구항 22.

청구항 21에 기재된 노광 장치에 의해 상기 마스크의 패턴을 상기 감광성 기판상에 노광하는 노광 공정과,

상기 노광 공정에 의해 노광된 상기 감광성 기판을 현상하는 현상 공정을 포함하는 것

을 특징으로 하는 마이크로디바이스의 제조 방법.

청구항 23.

마스크의 패턴을 감광성 기판에 노광하는 노광 방법에 있어서,

조명 광학계를 거쳐서 상기 마스크를 조명하는 조명 공정과,

상기 마스크의 패턴 상(像)을 상기 감광성 기판에 투영하는 투영 공정

을 포함하되,

상기 조명 공정은,

상기 조명 광학계의 동공에서의 조명광을 고리띠 형상으로 변환하는 작용을 부여하는 고리띠 작용 부여 공정과,

상기 조명 광학계의 광축과 직교하는 제 1 방향을 따라 상기 광축을 사이에 두고 대칭으로 상기 조명광을 변위시키는 제 1 변위 공정과,

상기 광축과 직교하고 또한 상기 제 1 방향과 교차하는 제 2 방향을 따라 상기 광축을 사이에 두고 대칭으로 상기 조명광을 변위시키는 제 2 변위 공정을 포함하는 것

을 특징으로 하는 노광 방법.

청구항 24.

제 23 항에 있어서,

상기 조명 공정은 상기 조명광의 크기를 가변으로 하는 변배 공정을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 노광 방법.

청구항 25.

마스크의 패턴을 감광성 기판에 노광하는 노광 방법에 있어서,

조명 광학계를 거쳐서 상기 마스크를 조명하는 조명 공정과,

상기 마스크의 패턴 상을 상기 감광성 기판에 투영하는 투영 공정

을 포함하되,

상기 조명 공정은,

상기 조명 광학계의 동공에서 상기 조명 광학계의 광축과 직교하는 제 1 방향을 따라 상기 광축을 사이에 두고 대칭으로 조명광을 변위시키는 제 1 변위 공정과,

상기 광축과 직교하고 또한 상기 제 1 방향과 교차하는 제 2 방향을 따라 상기 광축을 사이에 두고 대칭으로 상기 조명광을 변위시키는 제 2 변위 공정과,

상기 조명광의 크기를 가변으로 하는 변배 공정을 포함하는 것

을 특징으로 하는 노광 방법.

청구항 26.

마스크의 패턴을 감광성 기판에 노광하는 노광 방법에 있어서,

조명 광학계를 거쳐서 상기 마스크를 조명하는 조명 공정과,

상기 마스크의 패턴 상을 상기 감광성 기판에 투영하는 투영 공정

을 포함하되,

상기 조명 공정은 상기 마스크에 대한 조명 조건을 변경하는 변경 공정을 포함하고,

상기 변경 공정은, 상기 조명 광학계의 제 1 조명 조건을 설정하는 제 1 설정 공정과, 상기 조명 광학계의 제 2 조명 조건을 설정하는 제 2 설정 공정중 적어도 한쪽을 선택하는 선택 공정을 포함하며,

상기 제 1 설정 공정은,

상기 조명 광학계의 동공에서의 조명광을 고리띠 형상으로 변환하는 작용을 부여하는 고리띠 작용 부여 공정과,

상기 조명 광학계의 광축과 직교하는 제 1 방향을 따라 상기 광축을 사이에 두고 대칭으로 상기 조명광을 변위시키는 제 1 변위 공정과,

상기 광축과 직교하고 또한 상기 제 1 방향과 교차하는 제 2 방향을 따라 상기 광축을 사이에 두고 대칭으로 상기 조명광을 변위시키는 제 2 변위 공정과, 포함하고,

상기 제 2 설정 공정은,

상기 조명 광학계의 광축과 직교하는 제 1 방향을 따라 상기 광축을 사이에 두고 대칭으로 상기 조명광을 변위시키는 제 1 변위 공정과,

상기 광축과 직교하고 또한 상기 제 1 방향과 교차하는 제 2 방향을 따라 상기 광축을 사이에 두고 대칭으로 상기 조명광을 변위시키는 제 2 변위 공정과,

상기 조명광의 크기를 가변으로 하는 변배 공정을 포함하는 것

을 특징으로 하는 노광 방법.

청구항 27.

마스크의 패턴을 감광성 기판에 노광하는 노광 방법에 있어서,

조명 광학계를 거쳐서 상기 마스크를 조명하는 조명 공정과,

상기 마스크의 패턴 상을 상기 감광성 기판에 투영하는 투영 공정

을 포함하되,

상기 조명 공정은 상기 조명 광학계의 동공에서의 조명광의 크기 및 형상중 적어도 한쪽을 가변으로 하는 가변 공정을 포함하고,

상기 가변 공정은,

상기 조명광을 소망하는 고리띠비를 갖는 고리띠 형상으로 변환하는 작용을 부여하는 고리띠비 가변 공정과,

상기 조명 광학계의 광축과 직교하는 제 1 방향을 따라 상기 광축을 사이에 두고 대칭으로 상기 조명광을 변위시키는 제 1 변위 공정을 포함하는 것

을 특징으로 하는 노광 방법.

청구항 28.

제 27 항에 있어서,

상기 가변 공정은 상기 조명광의 크기를 가변으로 하는 변배 공정을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 노광 방법.

청구항 29.

제 28 항에 있어서,

상기 가변 공정은 상기 광축과 직교하고 또한 상기 제 1 방향과 교차하는 제 2 방향을 따라 상기 광축을 사이에 두고 대칭으로 상기 조명광을 변위시키는 제 2 변위 공정을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 노광 방법.

청구항 30.

제 27 항에 있어서,

상기 조명 공정은 상기 가변 공정 전에, 상기 조명광의 형상을 소망하는 광속 형상으로 변환하는 광 형상 변환 공정을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 노광 방법.

청구항 31.

제 30 항에 있어서,

상기 광 형상 변환 공정은,

제 1 회절 광학 부재를 이용하여 상기 조명광의 형상을 제 1 광속 형상으로 변환하는 제 1 회절 공정과,

상기 제 1 회절 광학 부재와 교환 가능하게 마련된 제 2 회절 광학 부재를 이용하여 상기 조명광의 형상을 제 2 광속 형상으로 변환하는 제 2 회절 공정을 포함하는 것

을 특징으로 하는 노광 방법.

청구항 32.

제 27 항에 있어서,

상기 조명 공정은 상기 가변 공정 후에, 광학 적분기를 이용하여 상기 피조명 물체를 균일하게 조명하는 균일 조명 공정을 포함하는 것을 특징으로 하는 노광 방법.

청구항 33.

마스크의 패턴을 감광성 기판에 노광하는 노광 방법에 있어서,

조명 광학계를 거쳐서 상기 마스크를 조명하는 조명 공정과,

상기 마스크의 패턴 상을 상기 감광성 기판에 투영하는 투영 공정

을 포함하되,

상기 조명 공정은 상기 마스크에 대한 조명 조건을 변경하는 변경 공정을 포함하고,

상기 변경 공정은, 상기 조명 광학계의 제 1 조명 조건을 설정하는 제 1 설정 공정과, 상기 조명 광학계의 제 2 조명 조건을 설정하는 제 2 설정 공정중 적어도 한쪽을 선택하는 선택 공정을 포함하며,

상기 제 1 설정 공정은,

상기 조명 광학계의 동공에서의 조명광을 소망하는 고리띠비를 갖는 고리띠 형상으로 변환하는 작용을 부여하는 고리 띠비 가변 공정과,

상기 조명광의 크기를 가변으로 하는 변배 공정을 포함하고,

상기 제 2 설정 공정은,

상기 조명 광학계의 광축과 직교하는 소정 방향을 따라 상기 광축을 사이에 두고 대칭으로 상기 조명광을 변위시키는 변위 공정과,

상기 조명광의 크기를 가변으로 하는 변배 공정을 포함하는 것

을 특징으로 하는 노광 방법.

#### 청구항 34.

마스크의 패턴을 감광성 기판에 노광하는 노광 방법에 있어서,

조명 광학계를 거쳐서 상기 마스크를 조명하는 조명 공정과,

상기 마스크의 패턴 상을 상기 감광성 기판에 투영하는 투영 공정

을 포함하되,

상기 조명 공정은,

상기 조명 광학계의 동공에서의 조명광을 소망하는 고리띠비를 갖는 고리띠 형상으로 변환하는 작용을 부여하는 고리 띠비 가변 공정과,

상기 조명 광학계의 광축과 직교하는 제 1 방향을 따라 상기 광축을 사이에 두고 대칭으로 상기 조명광을 변위시키는 제 1 변위 공정과,

상기 광축과 직교하고 또한 상기 제 1 방향과 교차하는 제 2 방향을 따라 상기 광축을 사이에 두고 대칭으로 상기 조명 광을 변위시키는 제 2 변위 공정을 포함하는 것

을 특징으로 하는 노광 방법.

#### 청구항 35.

마스크의 패턴을 감광성 기판에 노광하는 노광 방법에 있어서,

조명 광학계를 거쳐서 상기 마스크를 조명하는 조명 공정과,

상기 마스크의 패턴 상을 상기 감광성 기판에 투영하는 투영 공정

을 포함하되,

상기 조명 공정은 상기 마스크에 대한 조명 조건을 변경하는 변경 공정을 포함하고,

상기 변경 공정은, 상기 조명 광학계의 제 1 조명 조건을 설정하는 제 1 설정 공정, 상기 조명 광학계의 제 2 조명 조건을 설정하는 제 2 설정 공정, 및 상기 조명 광학계의 제 3 조명 조건을 설정하는 제 3 설정 공정중 적어도 하나를 선택하는 선택 공정을 포함하며,

상기 제 1 설정 공정은,

상기 조명 광학계의 동공에서의 조명광을 소망하는 고리띠비를 갖는 고리띠 형상으로 변환하는 작용을 부여하는 고리 띠비 가변 공정과,

상기 조명 광학계의 광축과 직교하는 제 1 방향을 따라 상기 광축을 사이에 두고 대칭으로 상기 조명광을 변위시키는 제 1 변위 공정과,

상기 광축과 직교하고 또한 상기 제 1 방향과 교차하는 제 2 방향을 따라 상기 광축을 사이에 두고 대칭으로 상기 조명광을 변위시키는 제 2 변위 공정을 포함하고,

상기 제 2 설정 공정은,

상기 조명광을 소망하는 고리띠비를 갖는 고리띠 형상으로 변환하는 작용을 부여하는 고리띠비 가변 공정과,

상기 조명광의 크기를 가변으로 하는 변배 공정을 포함하고,

상기 제 3 설정 공정은,

상기 조명 광학계의 광축과 직교하는 제 1 방향을 따라 상기 광축을 사이에 두고 대칭으로 상기 조명광을 변위시키는 제 1 변위 공정과,

상기 광축과 직교하고 또한 상기 제 1 방향과 교차하는 제 2 방향을 따라 상기 광축을 사이에 두고 대칭으로 상기 조명광을 변위시키는 제 2 변위 공정과,

상기 조명광의 크기를 가변으로 하는 변배 공정을 포함하는 것

을 특징으로 하는 노광 방법.

청구항 36.

마스크의 패턴을 감광성 기판에 노광하는 노광 방법에 있어서,

조명 광학계를 거쳐서 상기 마스크를 조명하는 조명 공정과,

투영 광학계를 이용하여 상기 마스크의 패턴 상을 상기 감광성 기판에 투영하는 투영 공정과,

상기 투영 광학계의 광학 특성을 계측하는 계측 공정

을 포함하되,

상기 조명 공정은,

상기 투영 공정을 실행하는데 있어 조명 조건으로서의  $\sigma$  값을  $0.4 \leq \sigma \leq 0.95$ 의 범위로 설정하는 노광 조건 설정 공정과,

상기 계측 공정을 실행하는데 있어 조명 조건으로서의  $\sigma$  값을  $0.01 \leq \sigma \leq 0.3$ 의 범위로 설정하는 계측 조건 설정 공정을 포함하는 것

을 특징으로 하는 노광 방법.

청구항 37.

제 36 항에 있어서,



상기 투영 공정을 실행하는데 있어, 상기 마스크와 상기 감광성 기판을 주사 방향을 따라 이동시키는 주사 공정을 더 포함하고,

상기 조명 공정은 긴쪽 방향과 짧은쪽 방향을 갖는 직사각형 형상의 조명 영역을 상기 마스크상에 형성하는 공정을 포함하며,

상기 조명 영역의 짧은쪽 방향의 길이를  $L_s$ 로 하고, 상기 조명 영역의 긴쪽 방향의 길이를  $L_l$ 로 할 때,  $0.05 < L_s/L_l < 0.7$ 의 관계를 만족하는 것

을 특징으로 하는 노광 방법.

#### 청구항 38.

청구항 23 내지 청구항 37 중 어느 한 항에 기재된 노광 방법을 이용하여 상기 마스크의 패턴을 상기 감광성 기판에 노광하는 노광 공정과,

상기 노광 공정에 의해 노광된 상기 감광성 기판을 현상하는 현상 공정을 포함하는 것

을 특징으로 하는 마이크로디바이스의 제조 방법.

#### 청구항 39.

마스크의 패턴을 감광성 기판에 노광하는 노광 장치에 있어서,

상기 마스크를 조명하는 조명 광학계와,

상기 마스크의 패턴 상을 상기 감광성 기판에 투영하는 투영 광학계

를 구비하되,

상기 조명 광학계는, 상기 마스크의 패턴을 상기 감광성 기판에 노광할 때에, 조명 조건으로서의  $\sigma$  값을  $0.4 \leq \sigma \leq 0.95$ 의 범위로 설정하고, 또한 상기 투영 광학계의 광학 특성을 계측할 때에, 조명 조건으로서의  $\sigma$  값을  $0.01 \leq \sigma \leq 0.3$ 의 범위로 설정하는 조명 조건 설정 수단을 갖는 것

을 특징으로 하는 노광 장치.

#### 청구항 40.

제 39 항에 있어서,

상기 마스크의 패턴을 상기 감광성 기판에 노광할 때, 상기 마스크와 상기 감광성 기판을 주사 방향을 따라 이동시키는 주사 수단을 더 구비하고,

상기 조명 광학계에 의해 상기 마스크에 형성되는 상기 조명 영역의 짧은쪽 방향의 길이를  $L_s$ 로 하고, 상기 조명 광학계에 의해 상기 마스크에 형성되는 상기 조명 영역의 긴쪽 방향의 길이를  $L_l$ 로 할 때,  $0.05 < L_s/L_l < 0.7$ 의 관계를 만족하는 것

을 특징으로 하는 노광 장치.

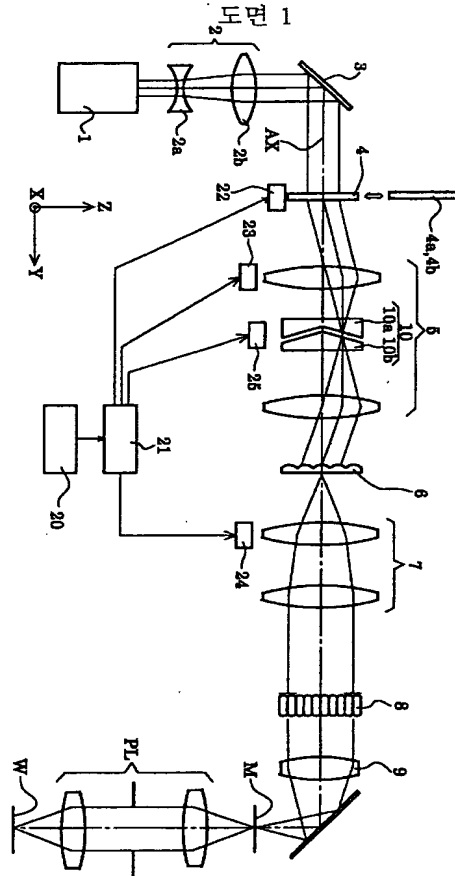
#### 청구항 41.

청구항 39 또는 청구항 40에 기재된 노광 장치를 이용하여 상기 마스크의 패턴을 상기 감광성 기판에 노광하는 노광 공정과,

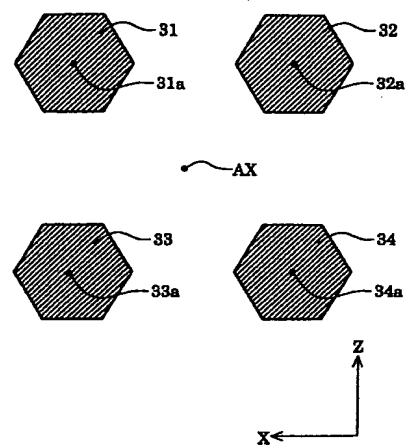
상기 노광 공정에 의해 노광된 상기 감광성 기판을 현상하는 현상 공정을 포함하는 것

을 특징으로 하는 마이크로디바이스의 제조 방법.

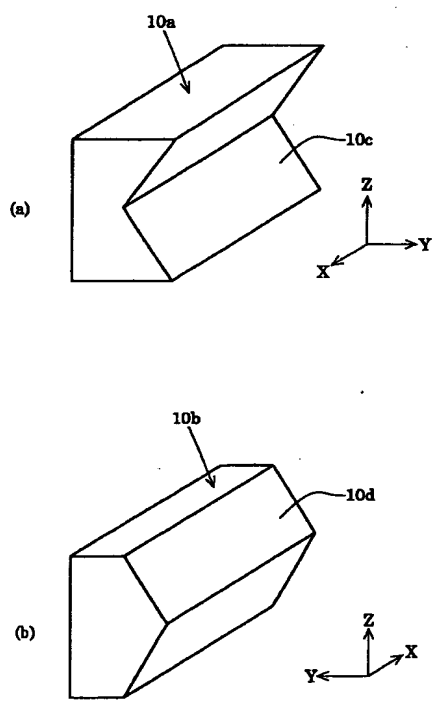
도면



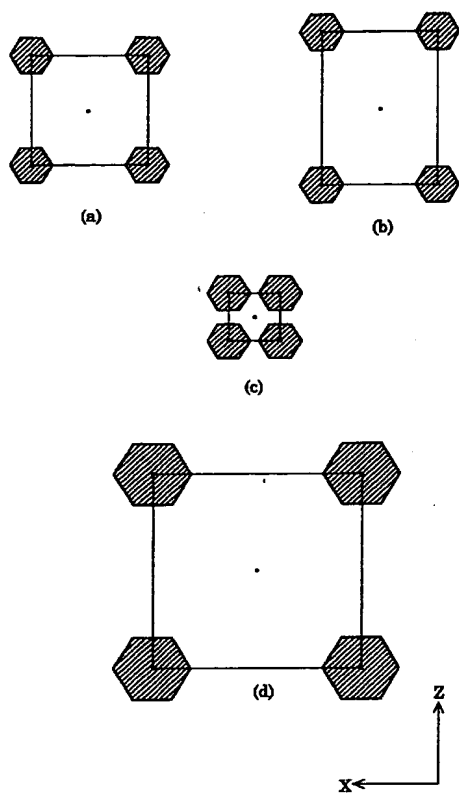
도면 2



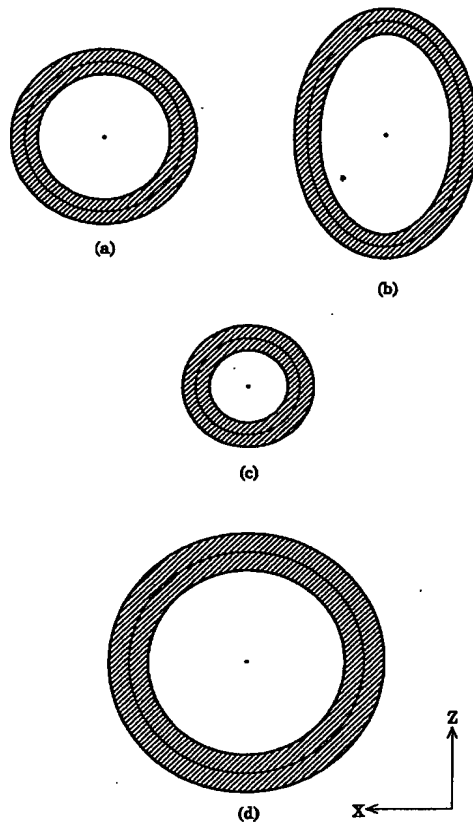
도면 3



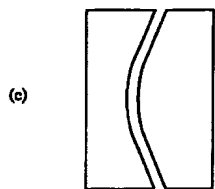
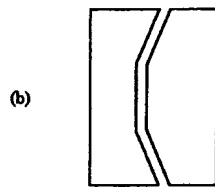
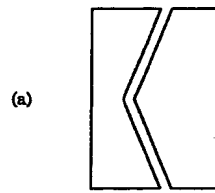
도면 4



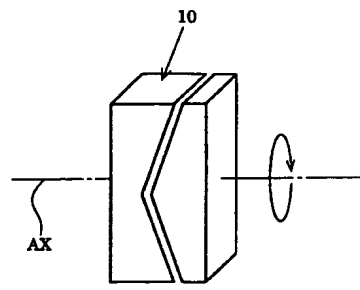
도면 5



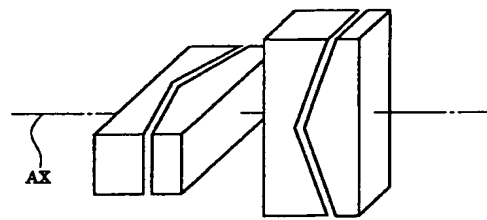
도면 6



도면 7

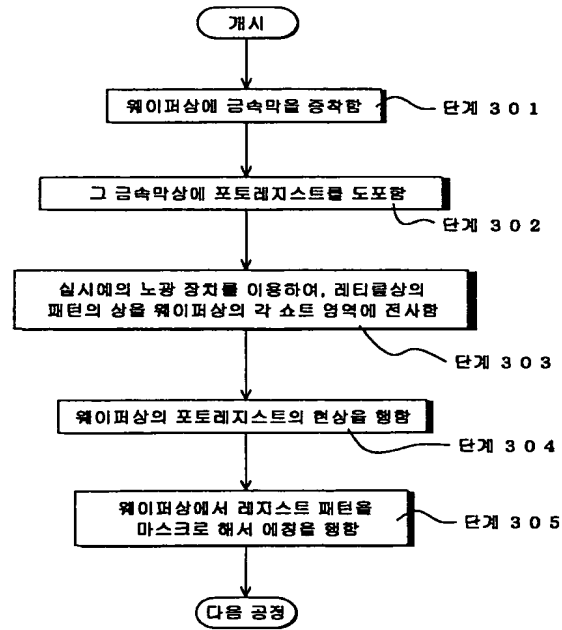


(a)

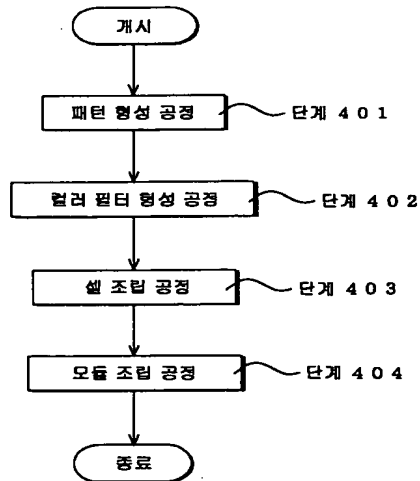


(b)

도면 8

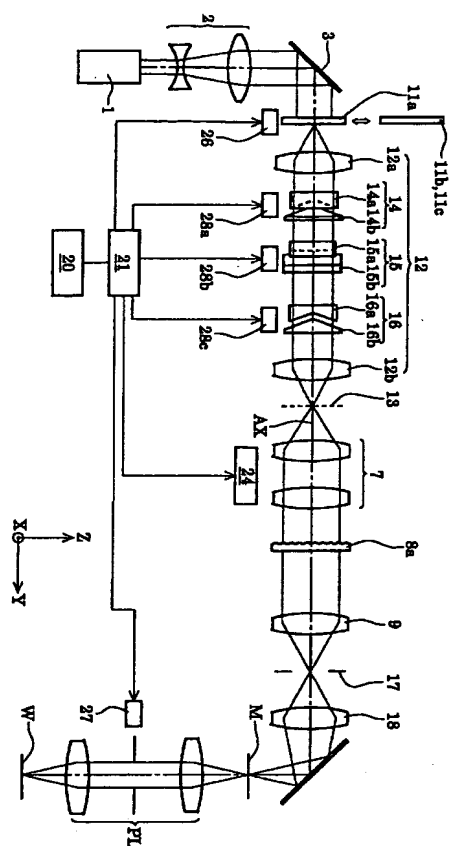


도면 9

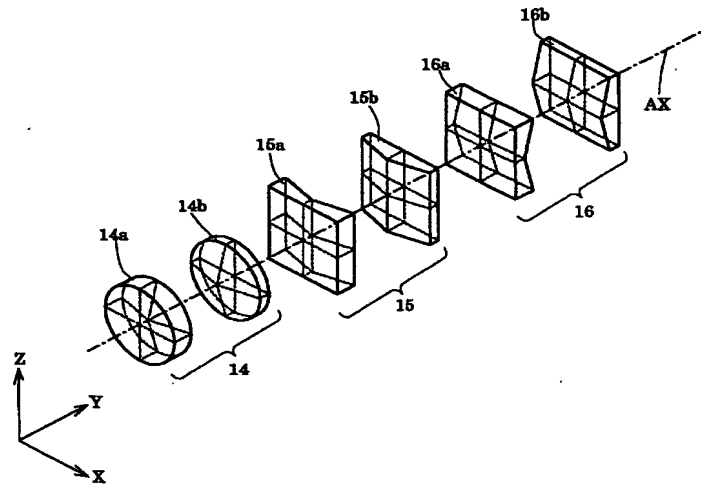




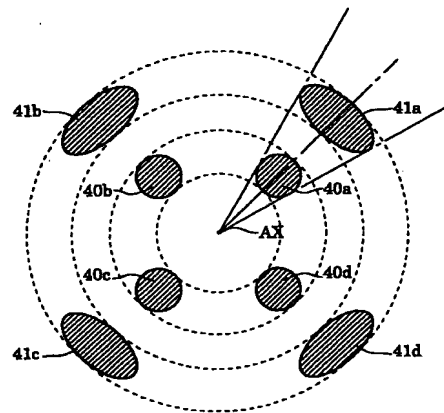
도면 10



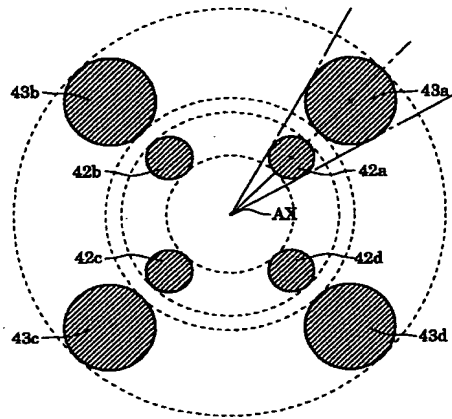
도면 11



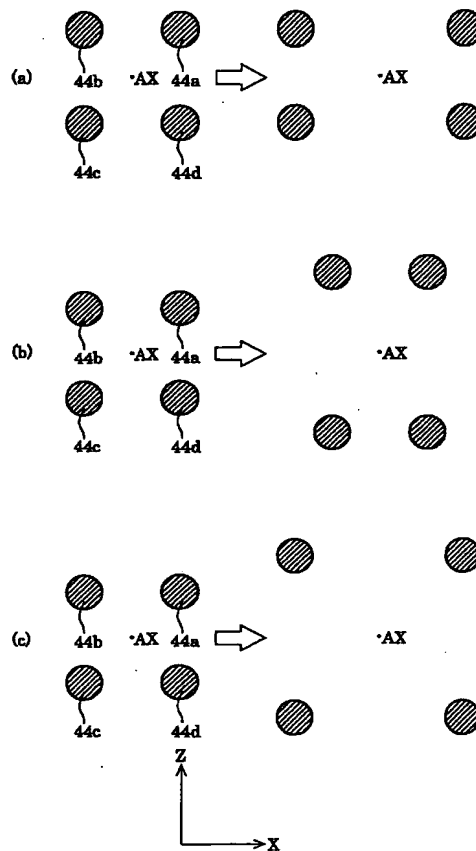
도면 12



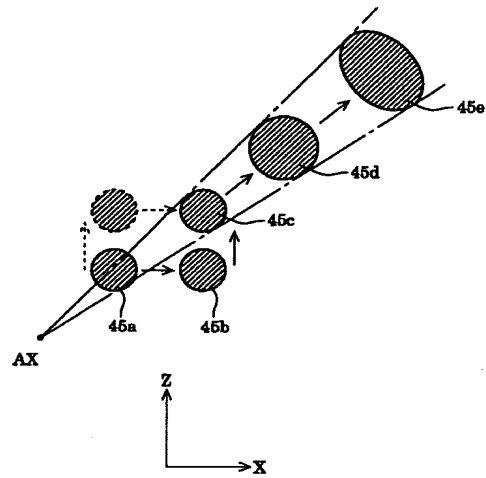
도면 13



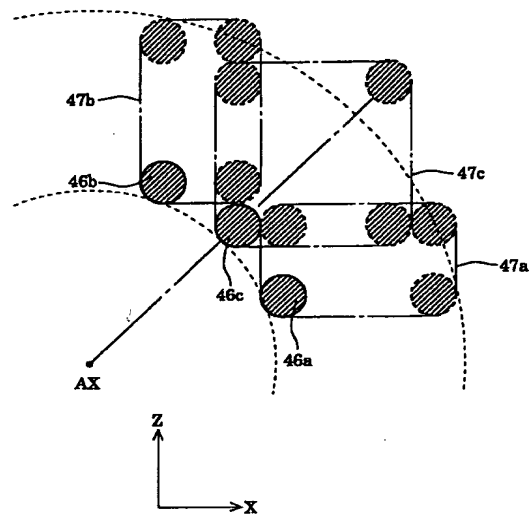
도면 14



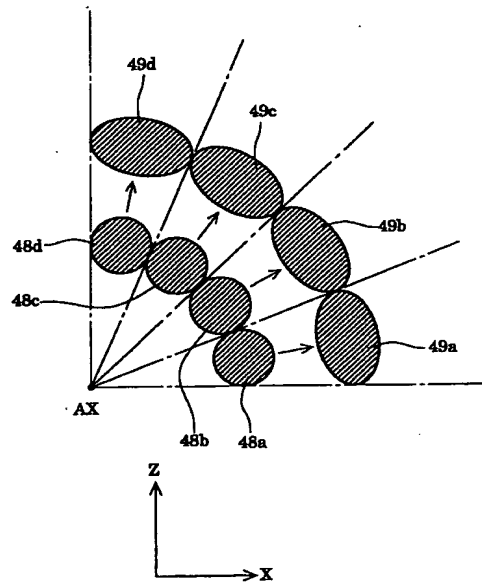
도면 15



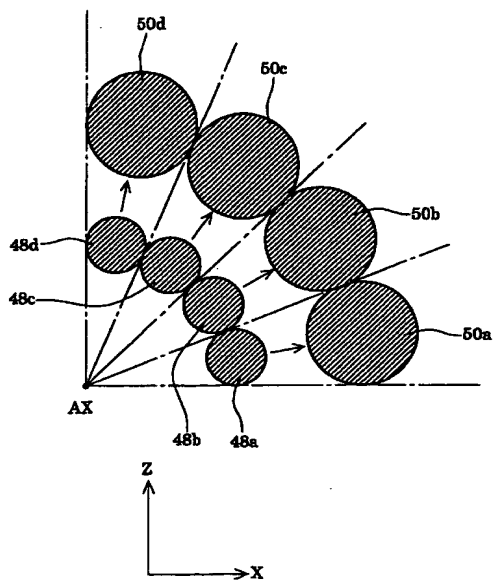
도면 16



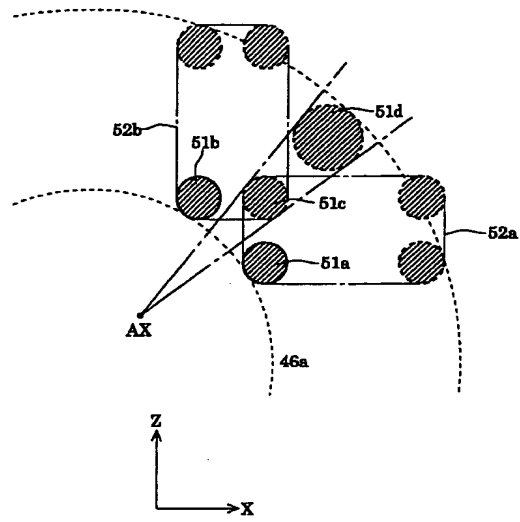
도면 17



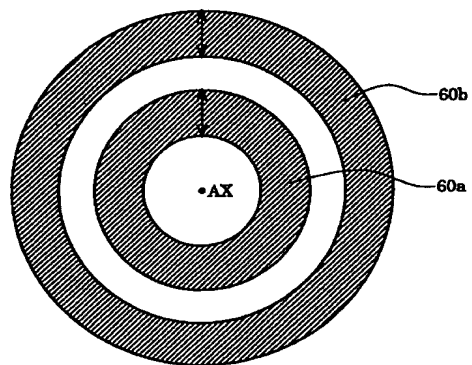
도면 18



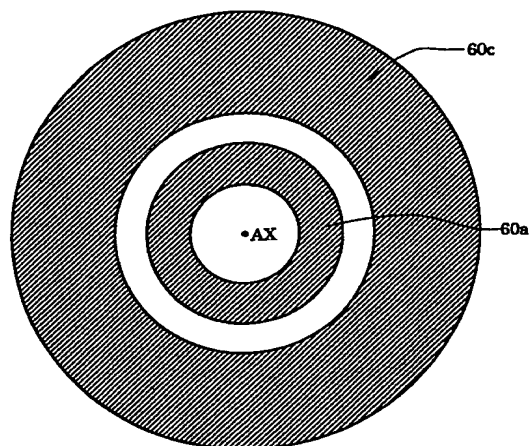
도면 19



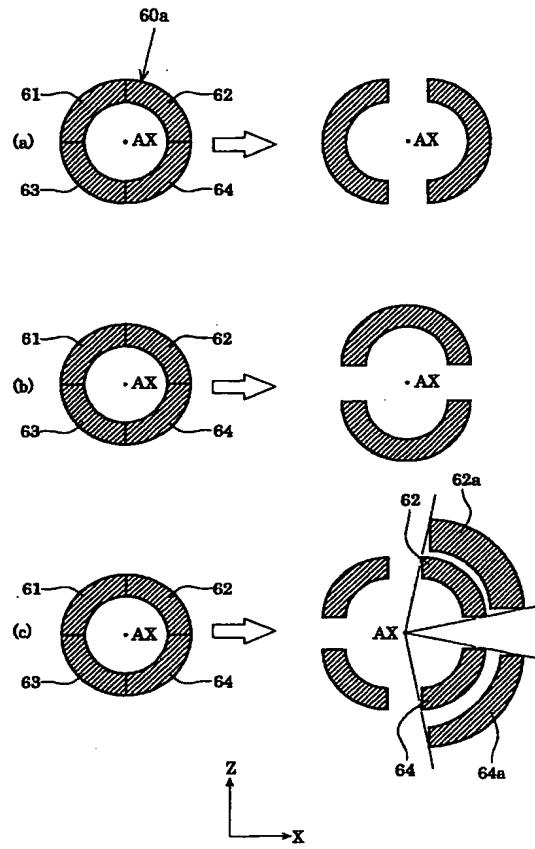
도면 20



도면 21

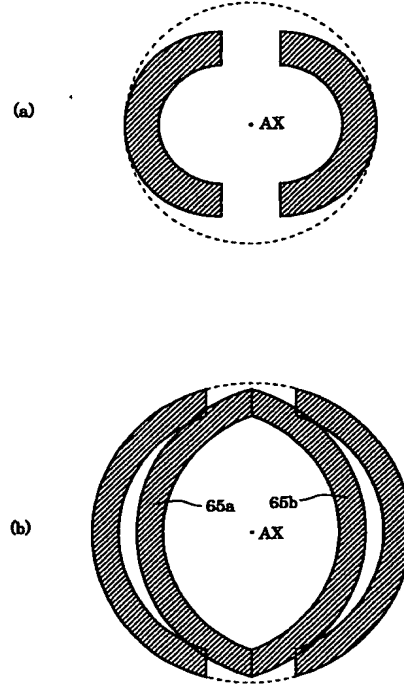


도면 22

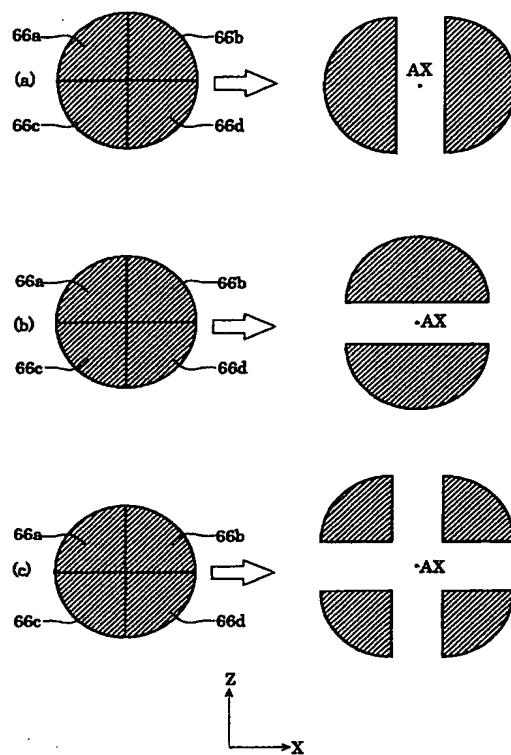




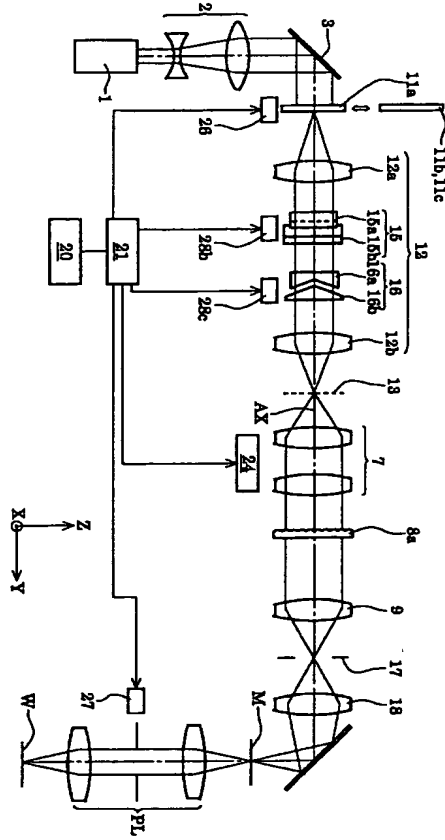
도면 23



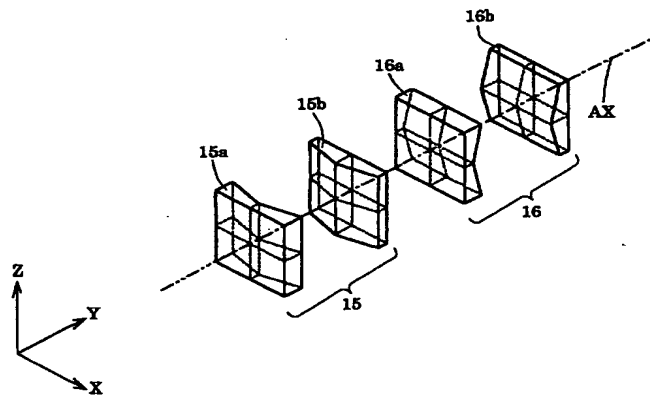
도면 24



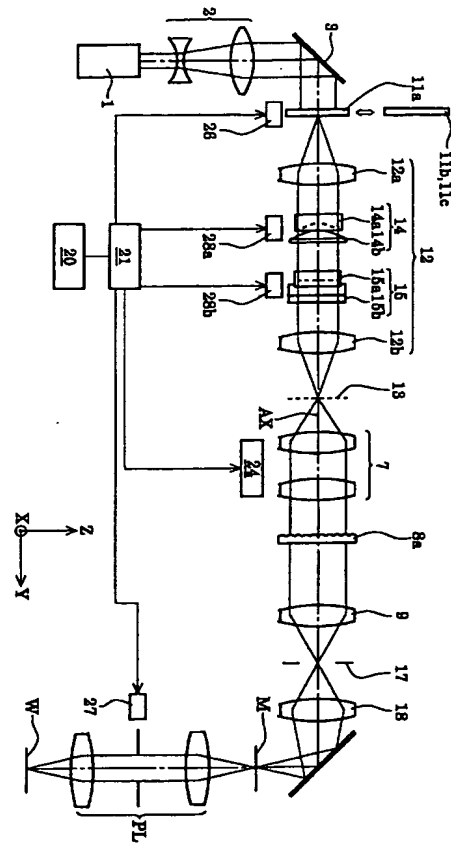
도면 25



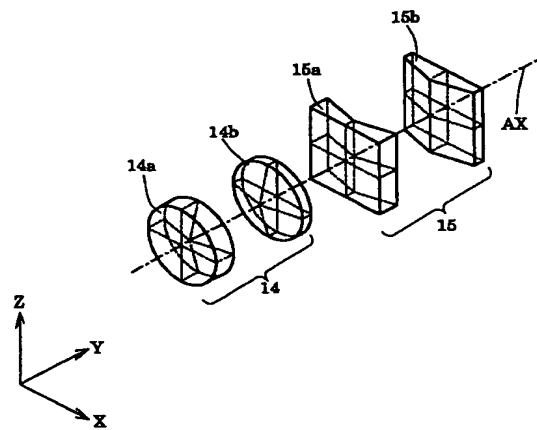
도면 26



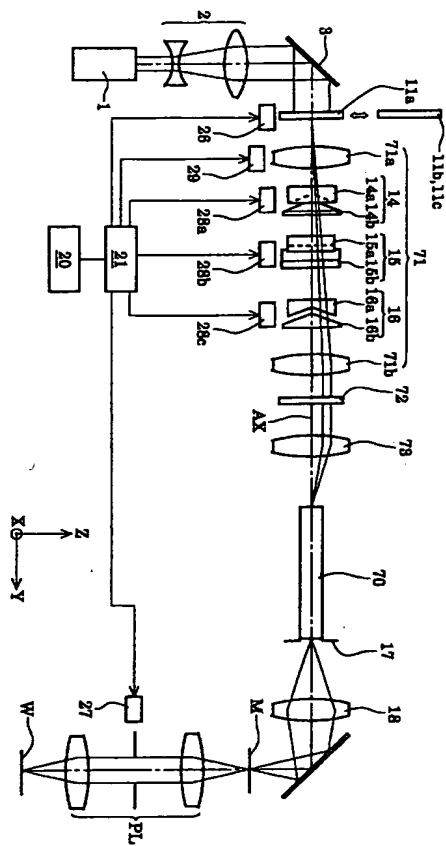
도면 27



도면 28



도면 29



도면 30

